



Titre: Analyse du processus d'ordonnancement de la production en entreprises
Title:

Auteur: Michel Guévremont
Author:

Date: 2009

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Guévremont, M. (2009). Analyse du processus d'ordonnancement de la production en entreprises [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/8482/>
Citation:

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/8482/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Pierre Baptiste, & Robert Pellerin
Advisors:

Programme: Génie industriel
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ANALYSE DU PROCESSUS D'ORDONNANCEMENT DE LA PRODUCTION EN
ENTREPRISES

MICHEL GUÉVREMONT
DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE INDUSTRIEL)
AOÛT 2009



Library and Archives
Canada

Published Heritage
Branch

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Direction du
Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence
ISBN: 978-0-494-57251-1
Our file Notre référence
ISBN: 978-0-494-57251-1

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

■ ■ ■
Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

ANALYSE DU PROCESSUS D'ORDONNANCEMENT DE LA PRODUCTION EN
ENTREPRISES

présenté par: GUÉVREMONT Michel

en vue de l'obtention du diplôme de: Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. ROBERT Jean-Marc, Doctorat, président

M. BAPTISTE Pierre, ing., Doctorat, membre et directeur de recherche

M. PELLERIN Robert, ing., Ph.D., membre et codirecteur de recherche

M. CASSIVI Luc, Ph.D., membre

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier chaleureusement mon directeur de recherche et directeur du département de mathématiques et de génie industriel à l'École Polytechnique de Montréal, M. Pierre Baptiste, ainsi que mon codirecteur de recherche et professeur agrégé au département de mathématiques et de génie industriel à l'École Polytechnique de Montréal, M. Robert Pellerin, qui ont rendu possible ce travail par leur écoute, leur soutien, leurs conseils judicieux ainsi que par leur création d'un environnement de recherche motivant et très inspirant.

Ce travail n'aurait pas été possible sans l'intérêt, la confiance et la compréhension de gestionnaires de la Division Hydroélectricité et Réseaux (anciennement Division Énergie) chez SNC-Lavalin inc.: M. Paul Dufresne, ancien vice-président principal et directeur général, M. François Couturier, vice-président Ingénierie, M. André St-Jean, chef de service des contrôles de projets, M. Hassine Benjannet, directeur de projet principal, et M. Luc Turcotte, directeur de projet principal, qui ont rendu possibles ces développements à temps partagé.

Je remercie aussi les étudiants de l'équipe de projet d'ordonnancement du laboratoire de recherche : M. Benoît Saenz de Ugarte, étudiant au doctorat, M. Jean-François Proulx, étudiant à la maîtrise, et M. Loïc Dominic, M. Ing., pour leur aide tout au long du projet, leur bonne humeur apportée au quotidien ainsi que pour les connaissances qu'ils ont accepté de partager avec moi.

J'ai aussi une pensée toute particulière pour ma famille que je remercie pour son aide et son soutien moral. Il en va de même pour un bon ami et confident, M. Pascal Perron, malheureusement décédé le 26 octobre 2007. Enfin, un remerciement exceptionnel à Mme Natasha Bergeron, ma compagne de vie, pour son amour, sa confiance et sa patience.

RÉSUMÉ

Ce mémoire analyse la performance de la fonction d'ordonnancement dans les entreprises manufacturières, qui est définie en termes de qualité des échéanciers de production et d'efficience du processus d'ordonnancement. Étant donné qu'il n'existe pas de modèle unique pour caractériser la qualité du processus et des résultats de l'ordonnancement, l'objectif de ce mémoire est d'offrir un cadre de recherche basé sur les caractéristiques des systèmes de production, de la préparation organisationnelle et de l'utilisation des systèmes d'ordonnancement. Ce cadre de recherche est proposé afin d'établir la performance de la fonction d'ordonnancement et permet de valider les déterminants et les caractéristiques qui contribuent à la compréhension du processus et des résultats de l'ordonnancement de la production afin de bien mesurer sa performance. Pour y arriver, des données ont été recueillies au moyen de 25 entrevues structurées et de nombreuses observations réalisées au sein de cinq entreprises canadiennes de production. Ce mémoire propose une typologie des unités de productions analysées, établit un ratio de planificateur par employé, décrit les formations typiques des planificateurs, définit les caractéristiques du cadre de recherche et évalue les forces et les faiblesses des entreprises en lien avec les caractéristiques de performance de la fonction d'ordonnancement. L'analyse des résultats démontre notamment que l'efficacité et l'efficience du processus d'ordonnancement en entreprise dépendent de facteurs qui dépassent largement la fonction de calcul et de génération de calendrier de travail. Les caractéristiques des systèmes de production, le niveau de formation, le niveau de conformité au processus de planification, le choix du système d'ordonnancement et son assimilation, et le niveau d'intégration entre le système d'ordonnancement et les logiciels de gestion intégrée de l'entreprise influent directement sur la performance de la fonction d'ordonnancement. Avec le développement des logiciels, des technologies, du savoir-faire, des processus et d'une économie globalisée, il serait utile d'appliquer le cadre de recherche dans l'industrie et de l'améliorer. Ceci permettrait de réduire les

grandes variations de la performance de la fonction d'ordonnancement dans l'industrie et d'évaluer la performance de la fonction d'ordonnancement dans d'autres entreprises.

ABSTRACT

This memoir analyzes the performance of the scheduling function in manufacturing organizations, which is defined in terms of the quality of the production schedules and the scheduling process efficiency. Since there is no unique model characterizing the quality of the scheduling process and results, this memoir aims at providing a research framework based on the production system, organizational readiness and scheduling system characteristics. This research framework is proposed to evaluate the performance of the scheduling function and allows validating the determinants and the characteristics that contribute to the comprehension of the production scheduling process and results in order to adequately assess its performance. Results were obtained from more than twenty-five interviews and numerous observations conducted in five Canadian production companies. This memoir suggests a production unit's typology, a scheduler per employee ratio and describes the typical training of schedulers from the visited companies. Further, it defines the characteristics of the research framework and analyzes companies' strengths and weaknesses in relation to scheduling function performance factors. Our results demonstrated that the scheduling process in companies goes beyond the calculation functions and schedule generation. It was found that the production system characteristics, the level of training, the level of conformity in the planning process, the choice of the scheduling system and its level of assimilation, and the level of integration between the scheduling and the enterprise system directly influence the performance of the scheduling function. With the development of software technologies, know-how, processes and globalized economy, it would be useful to apply the proposed research framework in the industry and to improve it. This would reduce great variations of the scheduling function performance in companies and help evaluating the performance of the scheduling function in other companies.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	iv
RÉSUMÉ.....	v
ABSTRACT	vii
TABLE DES MATIÈRES	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES FIGURES	xi
LISTE DES SIGLES ET ABBRÉVIATIONS.....	xiii
LISTE DES ANNEXES	xv
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1: REVUE CRITIQUE DE LA LITTÉRATURE.....	4
1.1 INTRODUCTION.....	4
1.2 PERFORMANCE DE LA FONCTION D'ORDONNANCEMENT.....	4
1.3 CARACTÉRISTIQUES CONTRÔLÉES DES SYSTÈMES DE PRODUCTION	9
1.4 UTILISATION DES LOGICIELS ET SYSTÈMES D'ORDONNANCEMENT	14
1.5 ORGANISATION DES ENTREPRISES LIÉE À L'EFFORT HUMAIN EN ORDONNANCEMENT.....	21
1.6 CONCLUSION	25
CHAPITRE 2: MÉTHODOLOGIE DES ÉTUDES DE CAS	26
2.1 INTRODUCTION.....	26
2.2 MÉTHODOLOGIE.....	26
2.3 PRÉSENTATION DES CINQ ENTREPRISES	32
2.4 LIEN ENTRE LES ARTICLES.....	39
CHAPITRE 3: ANALYSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	41
3.1 INTRODUCTION.....	41

3.2 PRINCIPAUX RÉSULTATS.....	41
3.3 DISCUSSION GÉNÉRALE	49
CHAPITRE 4: CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	54
4.1 SOMMAIRE DE NOTRE RECHERCHE ET CONTRIBUTIONS	54
4.2 RECOMMANDATIONS, LIMITES DE CE MÉMOIRE ET RECHERCHES FUTURES	55
BIBLIOGRAPHIE	58
ANNEXES.....	67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1. – Caractéristiques des entreprises visitées	33
Tableau 2.2. – Caractéristiques des entreprises liées à la fonction d’ordonnancement	34
Tableau A.1. - Entreprise et type d’environnement	75
Table B.1. – Company and environment type.....	100
Table C.1. – Companies	125
Table C.2. – Characteristics	128

LISTE DES FIGURES

Figure 0.1. - Organisation du document.....	3
Figure 1.1. – Cadre de recherche de la fonction d’ordonnancement	9
Figure 2.1. - Cadre d’analyse	30
Figure 2.2. – Entreprises observées en relation avec la typologie de Taylor (1981)	35
Figure 2.3. - Typologie des unités de production.....	36
Figure 3.1. - Résultats d’évaluation de cinq caractéristiques des systèmes de production dans cinq entreprises de production	42
Figure 3.2. - Résultats d’évaluation de cinq caractéristiques organisationnelles dans cinq entreprises de production	44
Figure 3.3. - Résultats d’évaluation de cinq caractéristiques des processus et des systèmes dans cinq entreprises de production.....	48
Figure 3.4. - Taux de respect des dates planifiées.....	48
Figure 3.5. - Processus itératif de l’ordonnancement de la production.....	51
Figure A.1. - Cadre d’analyse	73
Figure A.2. - Analyse de la complexité des environnements de production.....	78
Figure A.3. - Typologie des unités de production.....	79
Figure A.4. - Analyse des éléments organisationnels	79
Figure A.5. - Analyse des processus et des systèmes	82
Figure A.6. - Taux de respect des dates planifiées.....	82
Figure A.7. - Processus itératif de l’ordonnancement.....	84
Figure A.8. - Taux de respect des dates planifiées en fonction de l’efficacité et de la complexité.....	86
Figure A.9. - Taux de respect des dates planifiées en fonction de la mesure de complexité modifiée.....	86
Figure A.10. - Taux de respect des dates planifiées en fonction du niveau d’utilisation d’outils avancés d’ordonnancement.....	87

Figure A.11. - Taux de respect des dates planifiées en fonction de l'efficacité organisationnelle et de l'efficacité des processus et des systèmes.....	88
Figure B.1. – Scheduling model.....	93
Figure B.2. – Efficacy factors	102
Figure B.3. – Efficiency factors	103
Figure B.4. – Scheduling quality factors.....	106
Figure C.1. – Scheduling characteristics Model	115
Figure C.2. – Lettre émise par la revue scientifique internationale “Computers in Industry” le 18 mars 2009 comme confirmation de réception de l'article.....	139
Figure D.1. – Certificat d'acceptation d'un projet de recherche par le comité d'éthique de la recherche (CER) avec sujets humains de l'École Polytechnique de Montréal..	140

LISTE DES SIGLES ET ABBRÉVIATIONS

AACE:	Association for the Advancement of Cost Engineering
AI:	Artificial Intelligence
APICS:	American Production and Inventory Control Society
APS:	Advance Planning System
BACC:	Baccalauréat
BW:	Business Information Warehouse
CIRP:	International Academy for Production Engineering
CMM:	Capability Maturity Model
CMMI:	Capability Maturity Model Integration
CPIM:	Certified in Production and Inventory Management
CPM:	Critical Path Method
DD:	Client Due Dates
DEC:	Diplôme d'Études Collégiales
Ed(s):	Editor(s)
EPC:	Event process Chain
ERP:	Enterprise Resource Planning
FD:	Schedule Finish Dates
FD':	Execution Finish Dates
IEEE:	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IIE:	Institute of Industrial Engineers
JDE:	J.D. Edwards
JIT:	Just-In-Time
KPI:	Key Performance Indicator
M.Ing.:	Maîtrise cours en ingénierie
M.Sc.A.:	Maîtrise ès sciences appliquées
MS:	Microsoft Corporation

OR:	Operations Research
PMI:	Institute of Project Management
PMP:	Project Management Professional
PMS-ESS:	Performance Measurement System for the Evaluation of Scheduling Solutions
PS8:	Sciforma Corporation scheduling software
PSP:	Planning and Scheduling Professional
R/3:	Progiciel de gestion intégré par SAP AG
RD:	Client Release Dates
SAP:	Systems, Applications and Products
SCC:	Supply-Chain Council
SCOR:	Supply-Chain Operations Reference-model
SD:	Schedule Start Dates
SD':	Execution Start Dates
SPI:	Software Process Innovation
TESS:	Taylor Scheduling System
URL:	Uniform Resource Locator

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A – L’ordonnancement de la production: Bien plus qu’une question de calcul	67
ANNEXE B – The art of scheduling: a cross-case analysis	91
ANNEXE C – Assessing the performance of the scheduling function in manufacturing organizations: a cross-case analysis	112
ANNEXE D – Certificat d’acceptation d’un projet de recherche par le comité d’éthique de la recherche (CER) avec sujets humains de l’École Polytechnique.....	140

INTRODUCTION

La grande majorité des entreprises manufacturières a recours à une forme quelconque d'outils informatiques, variant des tableurs aux progiciels spécialisés, pour supporter leur processus d'ordonnancement de la production. Une recherche sur les sites web de l'*American Production and Inventory Control Society* (APICS), de l'*Institute of Industrial Engineers* (IIE), du *CXP International* et de *productionscheduling.com* rapporte rapidement plus de 500 produits logiciels d'ordonnancement.

Depuis l'apparition des premiers livres sur l'ordonnancement (Conway *et al.*, 1967; Baker, 1974), plus de 20,000 articles traitant du problème d'ordonnancement ont été publiés (Dessouky *et al.*, 1995). Ainsi, l'ordonnancement a été un produit de recherche d'un point de vue mathématique, incarné par les communautés de recherche opérationnelle, de gestion des opérations et de l'intelligence artificielle. Ce sujet a été au cœur de récents développements dans le cadre d'un projet confidentiel spécifique à l'ordonnancement financé par SAP AG (Pellerin *et al.*, 2007a; Pellerin *et al.*, 2007b; Pellerin *et al.*, 2008a) et autorisé par le comité d'éthique de la recherche (CER) avec des sujets humains de l'École Polytechnique de Montréal. À la lumière de ces informations, un prototype d'ordonnancement lean a été produit dans le cadre d'un projet de recherche à l'École Polytechnique de Montréal en partenariat avec SAP AG (Pellerin *et al.*, 2008b).

Toutefois, en date d'aujourd'hui, il n'y a pas de modèle unique pour caractériser la qualité du processus et des résultats de l'ordonnancement. Les éléments qui ont un impact sur la qualité du processus d'ordonnancement dans les entreprises ont donc été évalués. Ainsi, selon le niveau de qualité du processus d'ordonnancement désiré, les entreprises pourront engager les coûts appropriés.

L'objectif de ce mémoire est d'offrir un cadre d'analyse pour comparer différents éléments de production, d'organisation, de processus et de systèmes en vue d'améliorer la mise en service de l'ordonnancement en entreprises. Le cadre de recherche inclut autant l'efficacité que l'efficience du processus et des résultats de l'ordonnancement. Pour ce faire, une base de comparaison approfondie des processus d'ordonnancement reposant sur des données recueillies auprès de cinq entreprises industrielles canadiennes est présentée. Bien que certaines données demeurent estimatives ou confidentielles, le présent cadre d'analyse permet néanmoins d'améliorer la compréhension des activités et pré-requis liés aux processus d'ordonnancement en entreprises ainsi que ses résultats. L'impact des différents facteurs d'analyse sur la qualité du processus d'ordonnancement, mesurée en fonction du respect des dates planifiées et des clients, y est aussi analysé.

Ainsi, ce mémoire vise principalement à répondre à la question suivante : Quels sont les déterminants et caractéristiques contribuant à la compréhension du processus et des résultats de l'ordonnancement de la production afin de bien mesurer sa performance? Ces informations serviront d'outils à la décision en lien avec une implantation au meilleur coût de l'ordonnancement dans les entreprises.

Pour y arriver, tel qu'illustré à la figure 0.1, le présent mémoire présente d'abord une revue critique de la littérature. La méthodologie et la présentation des entreprises sont ensuite présentées au chapitre 2. Ce chapitre comprend aussi une description du questionnaire, des entrevues, des éléments d'analyses retenus, des études de cas en entreprises et présente le lien entre les articles. Les données et résultats obtenus sont présentés, discutés et analysés dans le chapitre 3. Finalement, au chapitre 4, une brève conclusion expose les contributions du mémoire à l'avancement des connaissances en réponse à la question de recherche et nous permet de proposer quelques avenues de recherches. Les travaux présentés dans ce mémoire ont fait l'objet de trois articles scientifiques dont deux ont déjà été présentés et un est soumis : "L'ordonnancement de

la production: Bien plus qu'une question de calcul'', ''The art of scheduling : a cross-case analysis'' et ''Assessing the performance of the scheduling function in manufacturing organizations: a cross-case analysis'', présentés en trois annexes pour terminer ce mémoire.

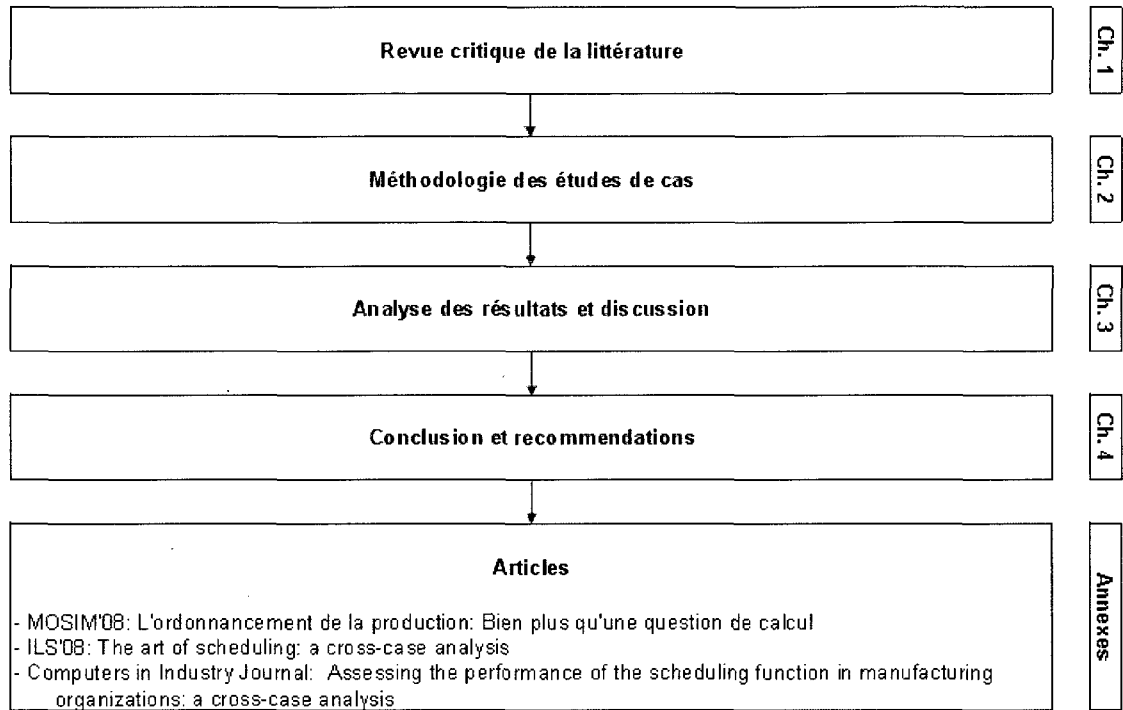


Figure 0.1. - Organisation du document

CHAPITRE 1: REVUE CRITIQUE DE LA LITTÉRATURE

1.1 Introduction

L'objectif de cette revue de littérature est de définir la problématique du mémoire et la situer par rapport à celles des travaux de recherche actuels. Une revue de littérature spécifique aux domaines abordés est présentée dans ce chapitre. La performance de la fonction d'ordonnancement est exposée à la section 1.2, les caractéristiques contrôlées des systèmes de production sont présentées à la section 1.3, l'utilisation des logiciels et systèmes d'ordonnancement est montrée à la section 1.4 et l'organisation des entreprises liée aux efforts humains en ordonnancement est exposée à la section 1.5. Ce chapitre présente aussi de façon synthèse l'apport de chacun des articles.

1.2 Performance de la fonction d'ordonnancement

Depuis les trois dernières décennies, l'ordonnancement a été un produit de recherche d'un point de vue mathématique, incarné par les communautés de recherche opérationnelle, de gestion des opérations et de l'intelligence artificielle. Depuis l'apparition des premiers livres sur l'ordonnancement (Conway *et al.*, 1967; Baker, 1974), plus de 20,000 articles traitant du problème d'ordonnancement ont été publiés (Dessouky *et al.*, 1995). Au début de 2009, une veille technologique a permis de recenser un total de plus de 85,000 articles traitant le problème d'ordonnancement. Dans ces recherches, l'ordonnancement est habituellement défini par "l'allocation d'un ensemble de ressources afin d'accomplir un groupe de tâches". Dans les systèmes de production, cela se traduit comme l'allocation d'un ensemble de machines et d'employés afin de réaliser un groupe d'opérations de production dans une période de temps connue. La résultante de l'ordonnancement est un échéancier qui est défini comme "un plan

faisant référence à une séquence de tâches ou d'opérations à temps définis et nécessaires pour compléter une action" (Vollmann *et al.*, 1988).

Tel que mentionné par MacCarthy et Wilson (2001), la performance en ordonnancement de la production est cruciale pour plusieurs organisations manufacturières afin de rencontrer leurs objectifs stratégiques ou opérationnels et de se maintenir en position compétitive. Malgré les nombreux indicateurs de performance proposés par la communauté scientifique afin d'évaluer la qualité des échéanciers, tels que l'adhérence à l'échéancier, la stabilité de l'échéancier et la robustesse, le nombre ou le pourcentage de tâches tardives ou les inventaires en excès, ces indicateurs sont souvent difficiles à implanter tel que mentionné par Neely (1999). En fait, peu d'organisations mesurent la performance de leur processus d'ordonnancement. La nature unique de chaque usine de production des firmes suggère que chacune des organisations doit définir des indicateurs de performance de l'ordonnancement qui sont alignés avec ses propres objectifs et environnement. Au lieu de proposer un modèle de mesure de l'ordonnancement, ce mémoire tente d'identifier les facteurs communs qui influent sur la performance de la fonction de l'ordonnancement à l'intérieur des organisations.

1.2.1 Qualité des échéanciers

De Villers (1983) définit l'efficacité comme le degré de réalisation des objectifs d'un programme. Ainsi, l'efficacité ou la robustesse du processus d'ordonnancement se veut l'habileté à produire un plan, à réaliser ce plan en rencontrant les objectifs de ce plan et à en évaluer les résultats.

À ce jour, un nombre important d'auteurs ont tenté d'identifier les variables pouvant avoir un impact sur l'efficacité ou la qualité des échéanciers de production. Toutefois, une théorie générale unique serait inappropriée étant donné les différences

fondamentales entre les différents types d'environnements de production. Même s'il y a plusieurs façons d'évaluer la qualité des échéanciers, nous nous sommes concentrés sur le respect des dates d'échéance afin de décrire la qualité des échéanciers dans ce mémoire. Ces paramètres représentent des valeurs intrinsèques aux entreprises.

Lucertini *et al.* (1998) mentionnent que les indicateurs usuels d'efficacité, tels que le temps de cycle et les durées d'opérations, sont bien difficiles à évaluer et même à formuler en termes logiques pour la plupart des systèmes de production. Pinedo (2005) définit les mesures de performance d'ordonnancement dans l'environnement manufacturier avec six facteurs :

- l'objectif de temps de cycle (goulots machine, plus faible capacité, sans neutre),
- les objectifs en lien avec les dates d'échéances (retards, tâches tardives, expéditions à temps, poids prioritaires, nombre de tâches en retard, dates au plus tôt pénalisées),
- les coûts de mise en place (coûts mineurs de mise en place, coûts majeurs de mise en place),
- les coûts d'inventaire des encours de production (opérations engorgées, inspections, concepts JAT, temps de cycle pondéré),
- les coûts d'inventaire des produits finis (coûts de conservation, grosseur du lot, stock de sécurité),
- les coûts de transport (camion, train, mer, air, vitesse, coûts et fiabilité, JAT, inventaire et coûts de conservation, interruptions à savoir bris de machine ou ordres prioritaires).

1.2.2 Efficience du processus d'ordonnancement

Blackstone Jr. (2008) définit l'efficience comme le ratio des résultats produits par rapport aux ressources consommées, soit les extrants divisés par les intrants.

En étudiant l'efficience, les entreprises contrôlent les efforts, le temps alloué et l'argent dédiés à la planification et l'ordonnancement avec comme objectif l'amélioration de leur production afin de soutenir leur compétitivité. Un processus de l'ordonnancement efficient permet aux entreprises d'améliorer leur performance. Les calculs d'ordonnancement d'un plan impliquent des calculs complexes et des contraintes. Ce fait est largement discuté dans la littérature et est décrit comme la robustesse ou l'efficacité du calcul. Au même moment, les clients et gestionnaires internes des entreprises évaluent les mesures requises pour ajouter des efforts afin de permettre des résultats meilleurs.

1.2.3 Fonction d'ordonnancement

La fonction d'ordonnancement inclut la génération des échéanciers et le processus de l'ordonnancement. Toutefois, aucune définition n'a été trouvée dans la littérature pour expliquer la performance de cette fonction d'ordonnancement. La définition suivante est proposée par l'auteur de ce mémoire suite à la validation du directeur et du codirecteur de ses recherches qui sont deux spécialistes du génie industriel.

La performance de la fonction d'ordonnancement dépend de la qualité des échéanciers, soit l'efficacité mesurée par le taux de respect des dates d'échéances, et de l'efficience du processus d'ordonnancement.

Aucune étude empirique n'a été trouvée dans la littérature pour essayer de mesurer l'influence des diverses caractéristiques sur la performance de la fonction d'ordonnancement. Ainsi, nous avons limité notre étude à une série de variables en relation avec les caractéristiques des systèmes de production, de la préparation des entreprises et de l'utilisation des logiciels d'ordonnancement qui sont décrites dans les sous-sections suivantes. Les caractéristiques représentées sont soit descriptives, spécifiques à une entreprise et non-contrôlées, soit des variables contrôlées ou partiellement contrôlées. Au final, la variable expliquée exprime le niveau désiré d'efficacité.

Étant donné que l'efficacité n'a pas de sens réel sans considération de l'efficience, nous proposons un cadre de recherche, illustré à la figure 1.1, où la performance de la fonction d'ordonnancement est exprimée comme une fonction de l'efficacité et de l'efficience. Ce cadre de recherche a été évalué lors de visites dans cinq industries manufacturières. Les caractéristiques du cadre de recherche sont présentées plus en détails dans les prochaines sections.

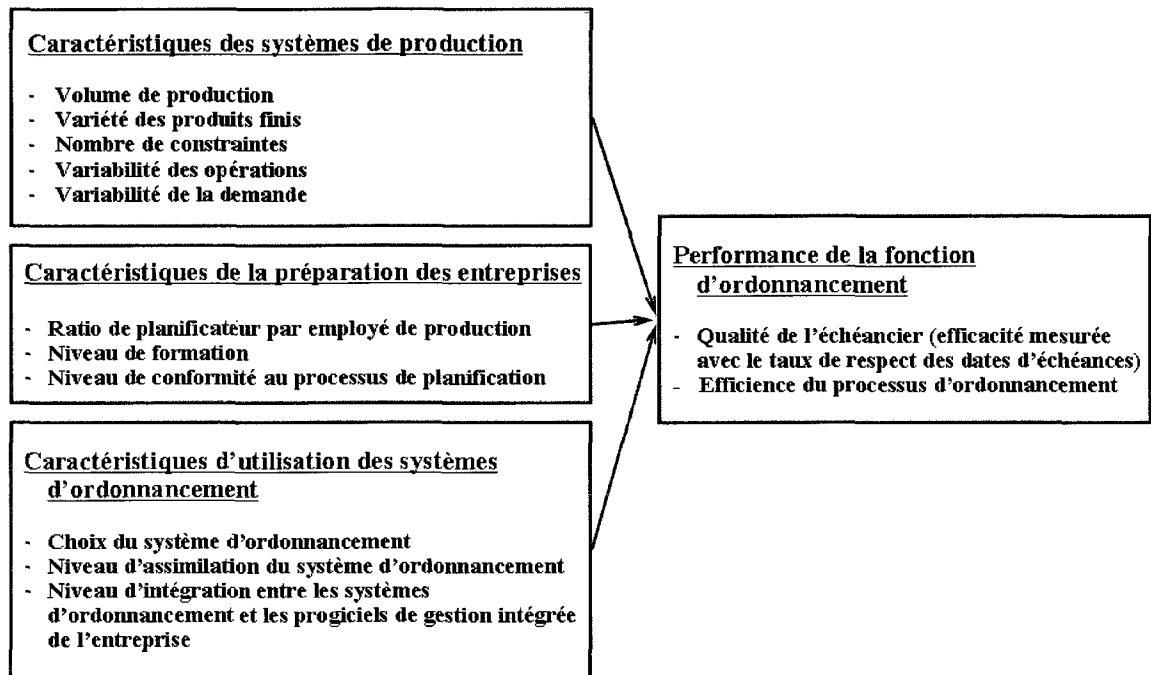


Figure 1.1. – Cadre de recherche de la fonction d'ordonnancement

1.3 Caractéristiques contrôlées des systèmes de production

La recherche de Wu *et al.* (2007) démontre que la complexité opérationnelle est une source majeure de coûts et une source importante d'inquiétude. Sivadasan *et al.* (2006) ont proposé une terminologie décrivant la complexité des aspects interconnectés des systèmes. La complexité des systèmes manufacturiers peut ainsi être mesurée de différentes façons. ElMaraghy *et al.* (2005) ont démontré qu'elle peut être mesurée par une formule d'entropie répondant dynamiquement aux livrables associés aux diverses problématiques de l'ordonnancement. Frizelle et Woodcock (1995) ont aussi proposé des indicateurs d'entropie afin de mesurer la nature statique et dynamique de la complexité des systèmes manufacturiers.

Toutefois, aucun cadre commun n'est utilisé afin de décrire et/ou comparer les multiples aspects de la complexité de l'ordonnancement dans l'environnement

manufacturier. Des aspects tels que la demande, les stocks, les produits, les processus, les séquences, le flux de l'information, le processus de prise de décision, les ressources et les objectifs peuvent toutes caractériser la complexité de l'ordonnancement dans les organisations. Toutefois, cinq principales caractéristiques d'influence émergent de la littérature sur l'ordonnancement, soit : le volume de production, la variété des produits finis, le nombre de contraintes, la variabilité des opérations et la variabilité de la demande.

1.3.1 Volume de production

En premier lieu, il importe de définir le volume de production selon de Villers (1993).

Il s'agit de la quantité d'articles fabriqués par une unité de production (machine, poste de travail, atelier, usine, groupe d'usines) au cours d'une période donnée.

Mazzola *et al.* (1998) indiquent que la productivité des ressources a un effet sur la courbe d'apprentissage qui peut augmenter, stagner ou décroître en fonction du volume antérieur de production. Yang *et al.* (2003) montrent aussi qu'un plus grand nombre de ressources de production est requis avec un plus grand volume de production. Ces derniers auteurs montrent que les heures de travail du personnel par unité de produit sont proportionnelles à la complexité de production. MacCarthy et Wilson (2001) mentionnent aussi que le volume de production, combiné avec des changements dans le mélange et la portée d'un produit affecte la complexité d'une usine. Ces arguments nous indiquent que le volume de production peut influencer sur la qualité de l'échéancier de production et l'efficacité du processus d'ordonnancement.

1.3.2 Variété des produits finis

Selon de Villers (1993), la variété des produits finis est définie comme le nombre d'unités de stock (SKU). L'unité de stock est constituée par la combinaison des articles et des emplacements géographiques.

Van Dam *et al.* (1993) ont investigué et comparé les causes de la complexité de l'ordonnancement dans l'industrie de la transformation pour des entreprises produisant des produits laitiers, pharmaceutiques, du tabac, de la peinture et du chocolat. Ces derniers auteurs notent que les systèmes d'ordonnancement supportant les tâches de travail n'ont pas changé suffisamment afin d'assurer la performance de la fonction d'ordonnancement. Ils rapportent qu'étant donné la complexité de la variété des produits finis et les contraintes multiples, les planificateurs ont besoin de produire des échéanciers justes et en peu de temps. Ceci peut seulement être accessible avec le support des logiciels d'ordonnancement pertinents tels qu'analysés par Van Dam *et al.* (1998). Dans un contexte similaire, Jiao et Seng (2000) ont observé que les entreprises doivent optimiser la complexité interne et la variété externe. En lien avec les familles de produits, ils considèrent le volume de production, les quantités requises par opération et le ratio de prix total par rapport à celui des composants. Ils mentionnent que le nombre et la diversité des composantes et leurs procédés de production reflètent la complexité de la conception d'un produit ainsi que de la planification et du contrôle de la production. Par conséquent, une mesure de complexité interne peut donner une indication de la difficulté d'instituer des systèmes de planification et de contrôle et la performance du système d'ordonnancement. Ces arguments nous amènent à reconnaître que la variété des produits finis peut influencer sur la qualité des échéanciers et l'efficacité du processus d'ordonnancement.

1.3.3 Nombre de contraintes

Le nombre de contraintes est défini par Blackstone Jr. (2008) par la quantité d'éléments ou de facteurs qui empêchent un système d'atteindre un plus haut niveau de performance en lien avec ses objectifs.

La recherche d'un échéancier de production optimal a longtemps été considérée comme une tâche difficile étant donné ses propriétés combinatoires, et ce, même dans le cas de problèmes théoriques sujets à un nombre limité de contraintes. Selon Lin (2002), la complexité de problèmes pratiques en ordonnancement est principalement due au nombre et à la variété des contraintes. Ces arguments nous amènent à conclure que le nombre de contraintes peut exercer une influence sur la qualité des échéanciers et sur l'efficacité du processus d'ordonnancement.

1.3.4 Variabilité des opérations

Aucune définition n'a été trouvée dans la littérature pour la variabilité des opérations. Ainsi, la définition suivante est proposée par l'auteur de ce mémoire suite à la validation du directeur et du codirecteur de ses recherches qui sont deux spécialistes du génie industriel.

Variabilité des opérations : Variabilité inhérente à une tâche ou activité dans un état contrôlé statistiquement. Le nombre de postes ou de centres de travail observés en entreprises pour les opérations en représente un indicateur.

L'impact sur l'incertitude des échéanciers de production a été étudié par plusieurs chercheurs. Par exemple, Bonfill *et al.* (2005) ont démontré l'importance des perturbations opérationnelles sur la performance de la production et ont proposé une

approche afin de considérer l'incertitude du temps de traitement dans l'ordonnancement. Aytug *et al.* (2005) ont aussi discuté des impacts de l'incertitude sur la qualité des échéanciers et la performance des systèmes à partir des conditions imprévues sur le plancher de la production. De plus, Herroelen (2005) a identifié plusieurs caractéristiques clés tels le degré de la variabilité dans l'environnement de travail, l'incertitude opérationnelle sur le plancher de la production, l'incertitude à propos du processus, l'incertitude à propos des objectifs et la dépendance aux influences externes qui ont des impacts sur l'efficacité et la stabilité. Ces observations nous amènent à reconnaître que la variabilité des opérations peut avoir un impact sur la qualité des échéanciers et sur l'efficacité du processus d'ordonnancement.

1.3.5 Variabilité de la demande

Selon de Villers (1993), la définition de la variabilité de la demande est la suivante.

Variabilité de la demande : Incertitude de la demande mesurée par l'écart-type, la déviation moyenne absolue ou la variance des erreurs de prévisions.

Macchiaroli et Riemma (2002) mentionnent que la complexité du processus manufacturier a augmenté due à la variabilité de la demande et l'imprévisibilité. Un système manufacturier moderne requiert aujourd'hui d'être suffisamment réactif et reconfigurable et, en même temps, de performer avec efficacité dans des conditions stables et prédites. Toutefois, la variabilité de la demande tout comme les changements dans les ordres et les priorités affectent la qualité des échéanciers tel que manifesté par McKay *et al.* (2002). Ces arguments nous indiquent que la variabilité de la demande peut être corrélée avec la qualité des échéanciers et l'efficacité du processus d'ordonnancement.

1.4 Utilisation des logiciels et systèmes d'ordonnancement

Il y a eu des efforts de recherche substantiels orientés vers la conception de systèmes de gestion de la production prenant en compte le problème d'allocation et son évaluation en situation réelle (Bauer *et al.*, 1991; Kempf *et al.*, 1991; Kempf, 1994; Pinedo, 1992). Les résultats des efforts variés de développement de ces systèmes ont été utilisés à bonnes fins dans certaines industries reposant sur des procédés industriels en continu (Rigby *et al.*, 1995) mais peu d'applications ont été faites pour les ateliers de type 'job shop' (Wiers, 1997a). Plus récemment, certains chercheurs se sont concentrés sur l'analyse des tâches effectuées par les responsables de l'ordonnancement et le déroulement des processus d'ordonnancement au sein d'entreprises (Crawford et Wiers, 2001). La modélisation du processus d'ordonnancement est cependant difficile du fait que les processus d'ordonnancement sont propres à chacune des entreprises. Par exemple, MacCarthy et Wilson (2001) ainsi que Herrmann (2006) parlent du déroulement typique de l'ordonnancement dans des entreprises variées telles une usine manufacturière d'outils, une firme d'ingénierie, une usine de linge, une usine de feuilles de métal et une usine pharmaceutique. Les mêmes auteurs exposent les descriptions des fonctions liées aux opérateurs ainsi qu'aux principaux acteurs de l'ordonnancement. Ainsi, ils considèrent les directeurs, les gestionnaires, les planificateurs, les *ordonnanceurs* et leurs supports administratifs comme les acteurs principaux impliqués dans le système d'ordonnancement. De façon semblable, Wortman *et al.* (1996) ont fait ressortir les interactions entre différents planificateurs et Stoop et Wiers (1996) ont identifié les relations entre les intervenants du plancher de la production et les planificateurs.

L'ordonnancement se doit d'être exécuté avec efficacité. Les systèmes d'ordonnancement impliquent plusieurs facteurs dynamiques qui contribuent à la réalisation de l'échéancier de production. Kariuki et Efsathiou (2002a et 2002b) ont introduit une mesure pour l'évaluation de l'adhésion à un échéancier comme indicateur

de la qualité de l'échéancier et mesure de performance dans l'environnement manufacturier. Selon eux, un bon échéancier est réalisable lorsque le personnel du plancher de la production est en mesure d'y adhérer et que le personnel-cadre peut faire face aux difficultés présentées par l'échéancier. Ils considèrent la mesure d'adhésion à un échéancier comme une façon d'évaluer la performance d'une usine. Toutefois, tel que mentionné par McCarthy et Wilson (2001), cette mesure à elle seule n'est pas adéquate comme mesure de performance et peut être atteinte dans une usine qui est sous-utilisée avec peu de ressources en conflit. Le résultat de l'ordonnancement peut être complexe et requérir le temps précieux de ressources déjà rarissimes. D'une manière intéressante, Cirne *et al.* (2007) ont défini l'efficacité comme la performance livrée par l'outil logiciel utilisé pour l'ordonnancement et l'efficience comme la somme des ressources gaspillées. Lucertini *et al.* (1998) montrent qu'un système de contrôle requiert l'affectation d'une série d'opérations à un ensemble de machines de façon à ce que toutes les contraintes soient satisfaites et qu'un index d'efficience soit optimisé. Toutefois, ils mentionnent que les indicateurs usuels d'efficience (encours, temps d'achèvement, transfert des pièces, répartition de la charge de travail, etc.) deviennent difficiles à évaluer et même à formuler en termes logiques ou comme une solution optimale d'un problème de décision exprimée sous forme analytique même avec une structure relativement simple. Dans le cadre d'études de cas, Johnson *et al.* (1990) et Hindi et Belarbi (1992) ont écrit qu'une solution d'ordonnancement est efficace lorsqu'elle possède une procédure mathématiquement prouvée qui donne une solution satisfaisante et régulièrement optimale.

Cependant, il n'existe pas de modèle unique caractérisant le processus d'ordonnancement et établissant de surcroît son coût d'une façon cohérente. De plus, la littérature relative aux coûts directement en relation avec les systèmes d'ordonnancement est apparemment inexistante. Pourtant, le processus d'ordonnancement doit être complété avec un coût raisonnable. Kim *et al.* (1997) ont analysé les systèmes manufacturiers en proposant un nouveau système de mesure de la

performance avec un environnement de coûts basé sur les activités. Les mesures critiques de la performance d'une activité sont basées sur l'efficacité, le temps d'achèvement, le temps de mise en course et la qualité. La qualité y est définie comme répondant à un besoin interne ou d'un client. Ils mentionnent que, de nos jours, les entreprises essaient d'améliorer la performance de leur activité en instaurant plusieurs programmes tels l'installation de nouveaux systèmes manufacturiers avancés et l'implantation d'un cercle de qualité. L'efficacité d'une activité est décrite comme le ratio de l'extrait sur l'intrant. Ils mentionnent que pour calculer l'efficacité d'une activité, les gestionnaires doivent déterminer le volume des extraits de l'activité. L'efficacité d'une activité est alors calculée en divisant les extraits par les intrants (ressources) requis pour soutenir l'activité. Le résultat procure un coût d'activité par produit.

Ahmad et Dhafr (2002) discutent les indicateurs clés de performance (KPI's) sur la base d'une expérience manufacturière qui peut être comparée à une cible interne ou une cible externe (repère d'excellence) afin de donner une indication de la performance. Ils mentionnent des métriques afin d'améliorer la performance manufacturière basée sur la performance financière, la performance technique et l'efficacité. Ils mentionnent l'efficacité, la qualité et les compétences techniques comme les trois indicateurs clés de la performance. Toutefois, ils indiquent que plusieurs organisations utilisent des métriques d'efficacité afin de mesurer seulement une portion de la vraie productivité. Des indicateurs incomplets mènent à des actions inappropriées.

Emerson (1913) a traité des principes de l'efficacité. Sa description semble appropriée pour caractériser le processus d'ordonnement :

“... mais la plupart des usines industrielles du monde sont encore à l'étape de la civilisation où le transport par vieux wagons de marchandises et de voiliers à travers les plaines

étaient typiques. Ils commençaient quand ils étaient prêts, ils arrivaient après un certain temps, et personne ne savait où ils étaient ou quelles routes ils prenaient entre les deux.’’

Mahmoud et Von Gaza (1990) ont établi un mécanisme de mesure de la performance d'un système planification des transports en commun. Ils établissent des indicateurs d'efficacité basés sur la production, l'échéancier et la conception des opérations et la productivité des opérateurs reflétant les revenus d'honoraires. Ces indicateurs sont conçus dans l'objectif d'être des outils de gestion puissants, pour les gestionnaires seniors et les employés de production, explicitant l'impact des changements de service sur l'efficacité du système. Une plus grande efficacité du processus est obtenue avec du personnel de planification compétent.

Nos recherches ont permis de trouver trois facteurs influençant la performance des systèmes d'ordonnancement dans la littérature: le choix du système d'ordonnancement, le niveau d'assimilation du système d'ordonnancement et le niveau d'intégration entre les systèmes d'ordonnancement et les progiciels de gestion intégrée de l'entreprise.

1.4.1 Choix du système d'ordonnancement

Le système d'ordonnancement, tel que défini par Baptiste *et al.* (2005), est un ensemble de logiciels qui permet d'allouer des plages de temps et des ressources à un ensemble d'opérations élémentaires en respectant des contraintes de nature variée et en optimisant un ou plusieurs critères d'évaluation.

La plupart des auteurs écrivent au sujet de la qualité des échéanciers plutôt que de la performance des systèmes d'ordonnancement. La qualité du système d'ordonnancement implique la satisfaction du client et des gestionnaires à l'interne. Cavalieri *et al.* (2007)

ont développé un système de mesure de la performance pour l'évaluation des solutions d'ordonnancement (PMS-ESS). Ils détaillent le cadre conceptuel afin d'évaluer le niveau de qualité en termes d'efficacité, de robustesse et de flexibilité. Ils fournissent une vision complète et détaillée de la logique, du cadre conceptuel, des efforts de développement et des premières expériences appliquées à l'élaboration des repères d'excellence. Avec leur cadre d'analyse à trois couches, ils mesurent l'efficacité, la robustesse et la flexibilité. Ils mesurent l'efficacité d'un système de production à travers des mesures d'ordonnancement liées aux opérations obtenues du plancher de l'atelier. Ainsi, ils incluent des mesures de performance pertinentes aux connaissances des gestionnaires d'usines.

Kempf *et al.* (2000) décrivent les différents éléments qui doivent être pris en compte lors de l'évaluation de la qualité d'un échéancier et discutent des implications concernant la conception et l'implantation de solutions d'ordonnancement. Ils fournissent une définition d'un échéancier et discutent des utilisations potentielles des échéanciers dans les entreprises. Tel qu'affirmé par Kariuki et Efstathiou (2002a et 2002b) et Kempf *et al.* (2000), la performance d'un système d'ordonnancement limite la qualité d'un échéancier. Les échéanciers contiennent une grande quantité d'information et ceci a un impact sur les mesures de la performance. De plus, pour le compte des parties prenantes de l'industrie, Galloway (2006b) a fait un sondage relatif à l'utilisation de l'ordonnancement, ses avantages, son applicabilité et son acceptation à travers les projets d'aujourd'hui. Elle a obtenu la vision des parties prenantes sur l'utilisation et l'efficacité de l'ordonnancement. Quant à Drummond (1995), il s'est illustré en présentant une liste des repères d'excellence et des ressources disponibles liés aux tests de performance pour la communauté en l'ordonnancement. De façon additionnelle, Schumacher *et al.* (1999) introduisent un indicateur de performance et un indicateur de mise en œuvre afin d'évaluer la qualité d'une opération et sa mise en œuvre planifiée. Le système présenté améliore la façon de négocier les perturbations et propose une réduction dans la fréquence de ces perturbations par la considération d'un vaste éventail

d'indicateurs de performance. Au final, il en résulte un meilleur processus d'ordonnancement et de meilleurs échéanciers. Ainsi, ces arguments nous amènent à inférer que le choix du système d'ordonnancement peut avoir un impact sur la qualité des échéanciers et sur l'efficacité du processus d'ordonnancement.

1.4.2 Niveau d'assimilation du système d'ordonnancement

Aucune définition liée du niveau d'assimilation n'a été trouvée dans la littérature. Ainsi, une définition est proposée par l'auteur de ce mémoire suite à la validation du directeur et du codirecteur de ses recherches qui sont deux spécialistes du génie industriel.

Niveau d'assimilation du système d'ordonnancement : Degré de compréhension des notions essentielles, de la culture et du processus des systèmes d'ordonnancement dans une entreprise.

Herroelen (2005) indique que plusieurs procédures d'ordonnancement de projet publiées au cours des dernières années dans la littérature n'ont pas encore été intégrées dans les logiciels commerciaux et ne sont que peu ou pas utilisées par les planificateurs. Il mentionne des études qui révèlent que les gestionnaires utilisent souvent les systèmes d'information avec la planification de projet et principalement pour la communication et la représentation plutôt que pour l'optimisation. De plus, les usagers des systèmes semblent avoir des connaissances limitées des systèmes qu'ils utilisent et des outils de planification en général. De surcroît, Schumacher *et al.* (1999) et Fichman et Kemerer (1997) ont montré l'importance de supporter l'apprentissage des systèmes dans les organisations. Ces observations nous amènent à croire que le niveau d'assimilation des

systèmes d'ordonnancement peut influencer sur la qualité des échéanciers et l'efficacité du processus d'ordonnancement.

1.4.3 Niveau d'intégration entre les systèmes d'ordonnancement et les progiciels de gestion intégrée de l'entreprise

Aucune définition du niveau d'intégration n'a été trouvée dans la littérature. Ainsi, une définition est proposée par l'auteur de ce mémoire suite à la validation du directeur et du codirecteur de ses recherches qui sont deux spécialistes du génie industriel.

Niveau d'intégration entre les systèmes d'ordonnancement et les progiciels de gestion intégrée de l'entreprise : capacité de partage des données entre les systèmes d'ordonnancement et les applications progicielles de gestion intégrée de l'entreprise.

Fichman et Kemerer (1997) décrivent la barrière de connaissance entre les innovations dans les processus logiciels (SPI) et les technologies organisationnelles complexes. Ensuite, ils expliquent trois facteurs hypothétiques relatifs à l'assimilation du SPI, soit : l'échelle relative à l'apprentissage, les connaissances apparentées et la diversité. Ils ont fait une étude empirique utilisant des données basées sur 608 entreprises du milieu des technologies de l'information qui confirme l'importance de ces trois facteurs. Ces arguments basés sur la revue de littérature nous amènent à conclure que le niveau d'intégration entre les systèmes d'ordonnancement et les systèmes progiciels de gestion intégrée d'entreprises peut avoir un impact sur la qualité des échéanciers et sur l'efficacité du processus d'ordonnancement.

1.5 Organisation des entreprises liée à l'effort humain en ordonnancement

Au cours des dernières années, quelques chercheurs comme Van Wezel *et al.* (2006) se sont penchés sur les aspects humains inhérents à l'ordonnancement et son processus. Ils ont créé un cadre d'analyse expliquant comment l'ordonnancement, les caractéristiques de production et les éléments organisationnels agissent ensemble pour générer un goulot d'étranglement dynamique en lien avec le processus de la planification. Ils montrent, à travers leurs analyses, que la pratique de la planification dépasse les méthodes de planification, les systèmes ERP et APS afin de pouvoir résoudre les problèmes typiques de l'industrie. Zoryk-Schalla *et al.* (2004) examinent le processus de planification et mentionnent la difficulté de capter l'ensemble des interactions entre les éléments d'un système APS.

Blackstone Jr. (2008) propose une définition de l'organisation des entreprises.

Organisation des entreprises : Processus de mise en place et de développement des principales compétences d'ordonnancement et des capacités organisationnelles d'ordonnancement permettant l'exécution de la stratégie d'entreprise et veillant à un avantage compétitif soutenable à travers le temps.

Les entreprises affichent différents niveaux de maturité en relation avec les expériences des employés et les actions associées avec la pratique de l'ordonnancement de la production. Pour cette caractéristique, nous avons trouvé trois facteurs principaux qui influent sur la performance de la fonction d'ordonnancement dans la littérature, soit : le niveau de formation, le niveau de conformité au processus de planification et le ratio de planificateur par employé de production.

1.5.1 Niveau de formation

La définition du niveau de formation n'a pas été trouvée dans la littérature. Ainsi, la définition suivante est proposée par l'auteur de ce mémoire suite à la validation du directeur et du codirecteur de ses recherches qui sont deux spécialistes du génie industriel.

Niveau de formation : mesure des connaissances, des habiletés et de l'expérience qui permettent d'avoir les principales compétences en ordonnancement.

Dans un domaine parallèle, mais considérant une analyse similaire, Galloway (2006a) a examiné comment l'ordonnancement est enseigné dans 211 universités de 17 pays à travers le monde en comparant leur syllabus de cours, les logiciels et les livres utilisés. Cette étude cible l'industrie de la construction. Toutefois, un parallèle peut facilement être fait avec les milieux industriel et manufacturier étant donné que les cours d'ordonnancement couvrent les produits et les services autant dans les milieux de production que de projet. Elle conclut qu'il n'y a pas d'uniformité dans les curriculums des cours, les manuels ou les matériels de référence utilisés dans les différentes écoles aux États-Unis, en Europe et en Asie. De plus, elle mentionne que le manque d'uniformité dans l'instruction universitaire est la cause première des erreurs de compréhension entre les participants portant sur les éléments d'un contrat. Elle mentionne la nécessité d'une certification des individus qui permettrait d'assurer une base des compétences et une uniformité des pratiques entre les professionnels, et conséquemment, une nouvelle génération de planificateurs aurait les compétences de produire des échéanciers de qualité. Galloway (2006b) a mené un sondage relatif à l'usage de l'ordonnancement et ses bénéfices, son applicabilité et son acceptation dans l'exécution des projets d'aujourd'hui. Elle a obtenu la vision des parties prenantes à propos des qualifications nécessaires au personnel d'ordonnancement et des

qualifications préférées aux ordonnanceurs. Les qualifications incluent de la formation in-situ, un diplôme d'ingénierie, une formation ou un cours d'ordonnancement, un diplôme de cycles supérieurs, une licence professionnelle, de l'expérience de travail et de l'expérience de terrain. Boucher *et al.* (2007) ont réintroduit la main-d'œuvre humaine comme la principale source de performance industrielle. Avec un sondage, ils ont étudié les liens entre les ressources humaines et la performance industrielle en analysant des facteurs comme les connaissances, les compétences et le savoir-faire. Ils ont insisté sur le concept de compétence en lien avec les systèmes d'informations pour faire une base d'analyse de performance et de développement de systèmes d'aide à la décision. Ces observations montrent que le niveau d'expertise, la formation et le niveau d'expérience peuvent être en corrélation avec la qualité des échéanciers et avec l'efficacité du processus d'ordonnancement.

1.5.2 Niveau de conformité au processus de planification

Aucune définition du niveau de conformité au processus de planification n'est recensée dans la littérature. La définition suivante est proposée par l'auteur de ce mémoire suite à la validation du directeur et du codirecteur de ses recherches qui sont deux spécialistes du génie industriel.

Niveau de conformité au processus de planification : Niveau de la capacité d'une entreprise à être conforme et en adhésion stricte avec les processus formels d'ordonnancement.

Niazi *et al.* (2007) mentionnent la préparation des entreprises et l'amélioration du processus par les logiciels avec la capacité du modèle intégré de maturité (CMMI) comme une représentation structurée du développement des processus logiciels (SPI) qui peuvent supporter les stratégies des entreprises. Ils rapportent l'amélioration du modèle

de la préparation du SPI dans trois études de cas à grande échelle et ont trouvé que les entreprises ayant un plus bas niveau CMM éprouvent des problèmes de connaissances au sujet du SPI, dû à un manque d'expérience des ressources et, qualifié par un manque de support, un manque de mentorat et de formation et un manque de revues. White (1996) a revu la littérature qui porte sur la performance manufacturière et a développé une taxonomie catégorisant les mesures de performance. Cette taxonomie peut être utilisée pour évaluer la performance manufacturière relative à la stratégie concurrentielle des entreprises. Ainsi, 125 mesures de performances sont classifiées selon la capacité concurrentielle (coûts, qualité, flexibilité, fiabilité de livraison et rapidité), la source d'information (interne ou externe), le type d'information (subjectif ou objectif), la référence (repères d'excellences ou critères autoréférents) et l'orientation (processus intrant ou processus extrant). Finalement, Kreipl et Pinedo (2004) ont décrit un cadre d'analyse pour la planification et l'ordonnancement de la chaîne d'approvisionnement dans lequel ils mentionnent la nécessité d'avoir des échanges d'information et des interactions dans les procédures entre les phases de planification et d'ordonnancement. Selon eux, cet aspect mérite plus d'attention. Ces observations nous amènent à considérer que le niveau de conformité au processus de planification peut avoir un impact sur la qualité des échéanciers et sur l'efficacité du processus d'ordonnancement.

1.5.3 Ratio de planificateur par employés de production

Une définition large du planificateur tirée de de Villers (1993) et Blackstone Jr. (2008) est ici utilisée.

Planificateur : Terme général pouvant référer à un planificateur analyste, un ingénieur manufacturier, un planificateur d'emballage, un planificateur, un planificateur-chef, un maître planificateur de l'offre ou de la demande, un planificateur de fabrication, un planificateur de matériel, un répartiteur, ou des fonctions combinées.

Le ratio de planificateur par employé de production a été introduit par Guévremont *et al.* (2008a, 2008b). Ils argumentent que ce ratio est une bonne mesure des efforts que les entreprises sont prêtes à faire pour obtenir de bons échéanciers. De façon surprenante, la littérature semble ignorer ce paramètre et aucune recherche ne porte sur le nombre de planificateurs ou d'ordonnanceurs dans les entreprises et son influence sur la performance. Toutefois, tel qu'illustré plus loin dans ce mémoire, les cinq entreprises analysées ont un ratio constant du nombre de planificateurs et ordonnanceurs par rapport au nombre d'employés de production. Ces arguments nous amènent à inférer que le nombre de planificateurs par employés peut avoir un impact sur la qualité des échéanciers et l'efficacité du processus d'ordonnancement.

1.6 Conclusion

Malgré les nombreux modèles décrivant une partie du processus d'ordonnancement (MacCarthy et Wilson (2001), Herrmann (2006), Cavalieri *et al.* (2007)), il n'existe pas à ce jour d'unique modèle complet qui permette de caractériser l'ensemble du processus d'ordonnancement et éventuellement, d'en établir les coûts de façon cohérente. Les travaux de ce mémoire portent sur les caractéristiques des systèmes de production, de la préparation des entreprises et de l'utilisation des systèmes d'ordonnancement. Aucun des auteurs revus n'a couvert cette perspective ni dans la littérature ni en entreprise. De plus, aucun des auteurs mentionnés dans ce chapitre ne se penche sur l'analyse en entreprise de l'efficacité et de l'efficacité de l'ordonnancement. La littérature portant directement sur les coûts liés aux systèmes d'ordonnancement nous paraît d'ailleurs inexistante.

Ainsi, nous cherchons ici à mieux cerner les différents éléments qui affectent la performance d'un processus d'ordonnancement en entreprise. Avant d'exposer les éléments de notre analyse, nous présentons ci-après la méthodologie dans la prochaine section.

CHAPITRE 2: MÉTHODOLOGIE DES ÉTUDES DE CAS

2.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'expliquer la méthodologie de nos travaux de recherche. Ce mémoire est présenté par articles et ainsi, une section relative à la méthodologie et aux observations est présentée dans chacun des trois articles. La méthodologie utilisée est présentée à la section 2.2, la présentation des cinq entreprises est montrée à la section 2.3 et les liens entre les articles sont présentés à la section 2.4.

2.2 Méthodologie

La méthode d'observation de processus réels d'ordonnancement de la production que nous avons développée comporte cinq grandes étapes :

- 1) Choix des entreprises à observer ;
- 2) Construction d'une grille d'observation concernant la production, les ressources, le processus d'ordonnancement lui-même, les acteurs et les coûts liés à l'ordonnancement ;
- 3) Définition du protocole d'entrevue et d'observation ;
- 4) Conduite des entrevues et des observations ;
- 5) Analyse des résultats.

Un projet de recherche effectué dans le cadre d'un partenariat entre l'École Polytechnique de Montréal et un grand développeur de logiciels d'ordonnancement nous a permis de conduire ce projet d'observation en entreprise. Cinq entreprises de la région de Montréal et ses environs ont été visitées et 25 acteurs de l'ordonnancement ont été interviewés. Les entreprises ont été sélectionnées sur la base de critères tels que les types de production (industrie en flux continu et en lots), les types d'organisation (ligne

d'assemblage, atelier multi-gamme), les secteurs industriels (pharmaceutique, alimentaire, automobile, militaire et aérospatiale) et les types d'activités (production et maintenance). Le choix final des entreprises est basé sur les relations du codirecteur de recherche avec des spécialistes de la production dans ces entreprises.

2.2.1 Questionnaires et entrevues

Suite à une revue de la littérature sur l'ordonnancement et à une analyse des logiciels d'ordonnancement par Pellerin *et al.* (2007a), nous avons élaboré un questionnaire. Pour des raisons de confidentialité, nous ne l'incluons pas dans ce mémoire étant donné que c'est un document qui fait partie de l'entente de confidentialité signé par les participants du projet, l'École Polytechnique de Montréal et le développeur de logiciel. Toutefois, nous pouvons révéler que ce questionnaire comporte cinq sections totalisant 26 questions, dont cinq fermées, cinq semi-ouvertes et 16 ouvertes. On répond à cinq questions par oui ou non et les 21 autres questions sont à développement :

- Section 1 : composition et au travail des acteurs de l'ordonnancement (cinq questions)
- Section 2 : modélisation du processus d'ordonnancement (huit questions)
- Section 3 : utilisation actuelle des logiciels d'ordonnancement (10 questions)
- Section 4 : soutien de la haute direction (deux questions)
- Section 5 : maintenance (une question)

Les questions ont été proposées par les professeurs et chercheurs du projet et ont fait l'objet d'un consensus pour en arriver à leur format final. Le questionnaire a été rempli sur papier par l'intervieweur lors des entrevues dirigées. Les questionnaires ont été testés lors des entrevues dirigées avec les employés de l'entreprise A. Aucun ajustement n'a été requis dans le questionnaire pour les entrevues suivantes dans les autres entreprises.

De façon complémentaire à ces questions, afin d'évaluer une valeur pour chacune des caractéristiques de notre modèle montré à la figure 1.1, un questionnaire complémentaire de 13 questions fermées a été distribué à un intervenant par entreprise visitée. Les questions de ce questionnaire complémentaire touchant la production permettent de connaître la taille de l'entreprise, la nature de la production, le nombre de produits, la nature de la demande, les informations de temps de cycle, le nombre d'ordres de production actifs moyen, le nombre moyen d'ordres complétés par jour, les durées moyennes des opérations complétées, le nombre moyen de composantes par produit et le pourcentage moyen de rejet.

Les questions couvrent aussi le nombre et le type de machines, le nombre d'opérateurs, les corps de métiers, les quarts de travail et le nombre de centres de travail.

Finalement, les questions touchant le processus de planification ont permis d'identifier les types d'acteurs et d'effectuer une cartographie complète des processus d'ordonnancement et de ré-ordonnancement (Pellerin *et al.*, 2007b) en utilisant la méthode EPC (*Event Process Chain*). EPC est un formalisme de modélisation permettant de décrire la logique d'affaires des processus en plus de la logique systèmes afin qu'il puisse être facilement compris et utilisé par les gestionnaires.

Les intervenants, agissant comme points de contact au sein des entreprises, ont été choisis sur la base de leur expérience en recherche. Dans les entreprises A, B, C et E, les points de contacts sont des anciens étudiants gradués ou des étudiants actuellement à la maîtrise recherche (M.Sc.A.) en génie industriel à l'École Polytechnique de Montréal. Dans l'entreprise D, l'intervenant est le vice-président opérations. Il possède un diplôme de premier cycle universitaire en administration des affaires et collabore régulièrement avec des groupes de recherche universitaires. Ces intervenants ont répondu par courriel à ce questionnaire en format électronique.

Dans un premier temps, de façon complémentaire aux résultats des entrevues structurées, les données obtenues auprès de ces intervenants pour chacune des cinq entreprises visitées ont permis de faire deux évaluations indépendantes. La première a été faite par l'équipe de trois étudiants à la maîtrise et d'un étudiant au doctorat faisant partie du projet de recherche en ordonnancement financé par SAP AG. La seconde a été faite par le directeur ou le codirecteur de ce mémoire. Dans un deuxième temps, une comparaison des évaluations a été faite et un consensus a été obtenu pour chacune des caractéristiques, montrées à la figure 1.1 suite à une discussion ouverte et ce, pour l'ensemble des entreprises. Au final, toutes les valeurs données reflètent le consensus de six personnes. Cette méthode s'apparente à une méthode delphi non-structurée. Les cinq entreprises ont été comparées entre elles et par rapport à leur industrie spécifique pour chacune des caractéristiques analysées dans ce mémoire. L'expérience du directeur et du codirecteur de ce mémoire et l'accès antérieur à des entreprises du même type que celles visitées ont permis de faire l'évaluation. Le fait d'avoir visité cinq entreprises permet aussi de faire une comparaison acceptable. Cette comparaison a été utilisée pour les trois articles en annexe.

Sur la base de ces questionnaires, nous avons fait des entrevues structurées. La diversité des situations et des répondants aurait rendu difficile la réalisation d'un simple sondage. En effet, les entreprises varient en termes de taille, de complexité, de processus, de produits et d'approche de planification et d'ordonnancement. Aussi, comme l'ordonnancement en entreprise implique diverses tâches cognitives et divers rôles sociaux, une première rencontre avec un responsable de la logistique ou de la production, selon les cas, a été effectuée dans le but d'identifier les données de base et les acteurs susceptibles de mieux répondre à l'ensemble des questions. Chaque entrevue a requis une heure en moyenne par employé rencontré. Une fois l'information colligée et organisée, une deuxième réunion et des observations de terrain avaient lieu afin de faire apporter des précisions et de combler tout manque d'information. Les visites en

entreprises ont eu lieu de mai 2007 à août 2007 et ont été effectuées par trois professeurs qui étaient accompagnés de quatre chercheurs. Les entrevues et les observations ont été conduites par ces quatre chercheurs et deux des trois professeurs.

2.2.2 Éléments d'analyse

Afin d'établir les relations existant entre les caractéristiques de l'organisation responsable du processus d'ordonnancement et la qualité de cette fonction, nous avons retenu trois dimensions d'analyse, soit :

- les caractéristiques du système de production et de son environnement ;
- l'organisation du travail, et
- les processus et systèmes mis en place.

Comme le montre la figure 2.1, ce cadre d'analyse suppose que les caractéristiques de production et les décisions prises par les entreprises en termes d'organisation du travail et de mise en place de processus et de systèmes d'information influencent directement la qualité du résultat final d'ordonnancement.

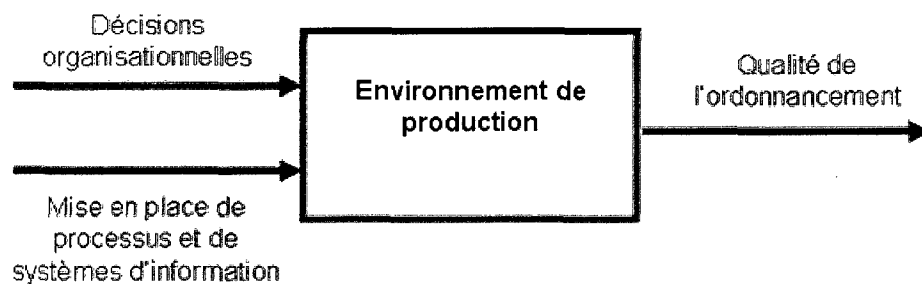


Figure 2.1. - Cadre d'analyse

Il fut nécessaire de prendre en compte le contexte et le niveau de difficulté de chaque entreprise. Pour chaque entreprise, les six éléments suivants ont été observés: volume de production, variété des produits, nombre de contraintes, variabilité des opérations, variabilité des besoins en matériels et variabilité de la demande.

L'analyse qualitative des organisations fut réalisée à partir des six critères suivants : précision des responsabilités, imputabilité des planificateurs, nombre de planificateurs, niveau de formation, niveau de scolarité à l'embauche et progression et cheminement de carrière.

Finalement, nous avons cherché à évaluer et comparer les processus et les systèmes d'information utilisés pour mener à bien la fonction d'ordonnancement. Les six éléments d'analyse suivants ont donc été retenus : processus d'établissement des dates de début et de fin des ordres, processus de suivi, processus de correction, système de planification, système d'ordonnancement et intégration des processus.

2.2.3 Étude de cas

Les entrevues, les questionnaires et les observations faites en entreprises nous ont permis de faire une étude de cas dans chacune des cinq entreprises de production. En fait, quand l'observation des comportements ne peut être contrôlée adéquatement et que peu est connu à propos d'un phénomène dû à un manque de théorie, une approche qualitative telle qu'une étude de cas est hautement recommandée comme manière alternative pour faire la preuve et comprendre un phénomène complexe, tel que mentionné par Yin (1994), Eisinghardt (1989) et Stuart *et al.* (2002).

Yin (1994) définit une étude de cas comme une étude empirique qui (a) investigate un phénomène contemporain dans un contexte de situation réelle, et spécialement quand (b) les frontières entre le phénomène et le contexte ne sont pas évidentes. Dans notre cas, le

processus d'ordonnancement implique plusieurs acteurs travaillant dans plusieurs départements, ce qui requiert de la coordination et de multiples systèmes. Tous ces facteurs contribuent à la complexité du processus d'ordonnancement. Conséquemment, une étude uniquement quantitative n'aurait pas permis d'acquérir une compréhension approfondie des expériences d'une firme et de ses employés.

Les questions portant sur la production ont permis de confirmer la taille des entreprises, la nature de la production, le nombre de produits, la nature de la demande, des informations sur le temps de cycle, la quantité moyenne d'ordres de production actifs, le nombre moyen d'ordres de production complétés quotidiennement, la durée finale moyenne d'une opération, le nombre moyen de pièces ou matériaux par produit, et le pourcentage moyen de rejet. Au niveau des ressources, les questions couvrent le nombre et le type de machine, le nombre d'opérateurs, les corps de métiers représentés, les quarts de travail et le nombre de stations de travail.

2.3 Présentation des cinq entreprises

L'activité d'ordonnancement a été évaluée dans son environnement normal, soit un environnement manufacturier complexe et dynamique. Tel qu'illustré dans le tableau 2.1, deux entreprises utilisent une approche à flux continu (*flow shop*), deux autres entreprises utilisent une approche multi-gamme (*job shop*) et une fonctionne en mode mixte. On a plus de détails dans les sections 2.3.1 à 2.3.5. Le tableau 2.2 affiche les principales caractéristiques des entreprises liées à la performance de la fonction d'ordonnancement. Les évaluations quantitatives qui sont présentées dans ce tableau utilisent une échelle de valeur simple (faible, modérée et élevée) permettant une comparaison facile des entreprises entre elles et aussi par rapport à la moyenne observée dans l'industrie manufacturière. Ces valeurs ont été obtenues suite au consensus basé

sur les expériences des auteurs des articles en annexe de ce mémoire et des chercheurs du projet confidentiel en ordonnancement.

Tableau 2.1. – Caractéristiques des entreprises visitées

Entreprises	A	B	C	D	E
Caractéristiques des entreprises					
Secteur	Défense	Pharmaceutique	Aérospatial	Alimentaire	Transport
Type d'environnement	Atelier multi-gamme	Mixe (flux continu et multi-gamme)	Atelier multi-gamme	Atelier à flux continu	Atelier à flux continu
Origine des dates d'échéances	Clients et Prévisions	Prévisions	Clients	Prévisions	Prévisions
Nombre d'employés	420	1300	500	230	1000
Nombre de planificateurs/ordonnanceurs	9	21	6	4	20

Tableau 2.2. – Caractéristiques des entreprises liées à la fonction d'ordonnancement

Entreprises	A	B	C	D	E
Caractéristiques des systèmes de production					
Volume de production	Faible	Élevé	Faible	Élevé	Modéré
Variété des produits	Élevée	Modérée	Faible	Modérée	Élevée
Nombre de contraintes	Élevé	Élevé	Modéré	Élevé	Modéré
Variabilité des opérations	Élevée	Modérée	Faible	Élevée	Modérée
Variabilité de la demande	Élevée	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée
Caractéristiques de la préparation des entreprises					
Niveau de formation	Faible	Élevé	Modéré	Modéré	Modéré
Précision des responsabilités	Faible	Élevée	Modérée	Modérée	Modérée
Niveau de scolarité à l'embauche	Faible	Élevé	Modéré	Modéré	Modéré
Progression et cheminement de carrière	Faible	Élevé	Modéré	Modéré	Modéré
Processus d'établissement des dates de début et des dates de fin des ordres	Pauvrement Défini & Établi	Défini & Établi	Défini & Établi	Défini & Établi	Défini & Établi
Processus de suivi	Pauvrement Défini & Établi	Bien Défini, Établi & Centralisé	Défini & Établi	Défini & Établi	Défini & Établi
Processus de correction	Pauvrement Défini & Établi	Bien Défini, Établi & Centralisé	Défini & Établi	Défini & Établi	Défini & Établi
Ratio des planificateurs par employé de production	2.14%	1.62%	1.20%	1.74%	2.00%
Caractéristiques d'utilisation des systèmes d'ordonnancement					
Logiciel d'ordonnancement	SAP MS Excel	JDE, TESS, MS Excel, BRIO	Salomon, PS8, MS Excel, MS Project	SAP, Application interne	Application interne
Niveau d'assimilation du système d'ordonnancement	Élevé	Modéré	Modéré	Élevé	Modéré
Niveau d'intégration entre l'ordonnancement et les systèmes de l'entreprise	Modéré	Élevé	Modéré	Modéré	Modéré
Performance de la fonction ordonnancement					
Taux de respect des dates d'échéances (efficacité) et efficience du processus	Faible	Élevé	Faible	Élevé	Élevé

En utilisant la typologie de Taylor (1981), telle qu'illustrée à la figure 2.2, les entreprises étudiées sont aussi classifiées montrant un volume sur mesure pour les entreprises A et C et une différenciation moyenne de volume pour les entreprises B, D et E.

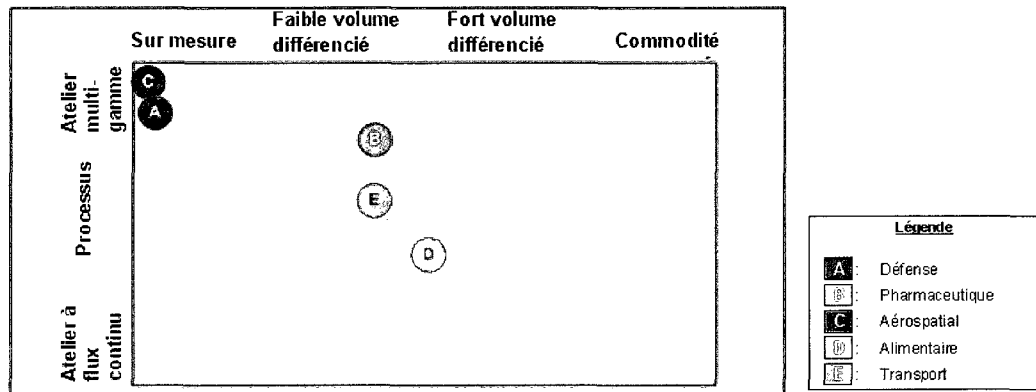


Figure 2.2. – Entreprises observées en relation avec la typologie de Taylor (1981)

Ces données nous permettent de différencier les entreprises selon leur difficulté à produire un échéancier de production réalisable. En utilisant la classification de Wiers (1997b), il nous est possible de classer les cinq entreprises en atelier lisse, social, de stress ou socio-technologique (voir figure 2.3). Selon cette classification, l'abscisse représente l'incertitude liée à la complexité de la production et l'ordonnée représente l'habileté humaine usant de flexibilité pour récupérer de l'incertitude et des perturbations. McCarthy et Wilson (2001) indiquent qu'un atelier lisse montre peu d'incertitude dans les prévisions et en provenance des demandes des clients et se caractérise avec un faible besoin d'intervention humaine et de résolution de problème. Les échéanciers y sont souvent générés automatiquement. Un atelier social utilise un planificateur qui génère un échéancier initial montrant une quantité de travail réalisable et laissant au personnel de production la flexibilité et la capacité de respecter les dates d'échéances. Un atelier socio-technologique montre un échéancier qui ne peut pas tenir compte de l'incertitude liée à la production. Les ressources de production sont utilisées pour combler les perturbations des unités de production en parvenant à faire des excès

de quantités en production ou en utilisant de l'entreposage. L'échéancier représente un guide de production et n'est pas exécuté à la perfection. Un atelier de stress montre que l'incertitude ne peut être comblée par la productivité du personnel de production. L'impact de l'incertitude affecte plusieurs ressources et les tâches doivent être gérées dans leur ensemble. Ainsi, le planificateur gère les perturbations par des actions de re planification suite à des rétroactions avec le personnel de production.

De Villers (1993) définit un atelier multi-gamme comme un atelier de production unitaire, souvent à gamme variable et dont la configuration est établie en fonction du regroupement de machines de même type. Comme le montre la figure 2.3, les ateliers multi-gammes représentent des environnements plus turbulents et plus difficiles à maîtriser. Dans notre analyse, on note que les entreprises A et C opèrent dans un atelier de stress alors que les entreprises B, D et E opèrent dans un atelier socio-technologique. Nous notons que l'entreprise A œuvre dans l'environnement le plus complexe et l'entreprise B dans l'environnement le plus simple. On note que l'entreprise A travaille dans un milieu où l'intervention des employés a un impact au mieux marginal sur la capacité de redresser une situation d'urgence.

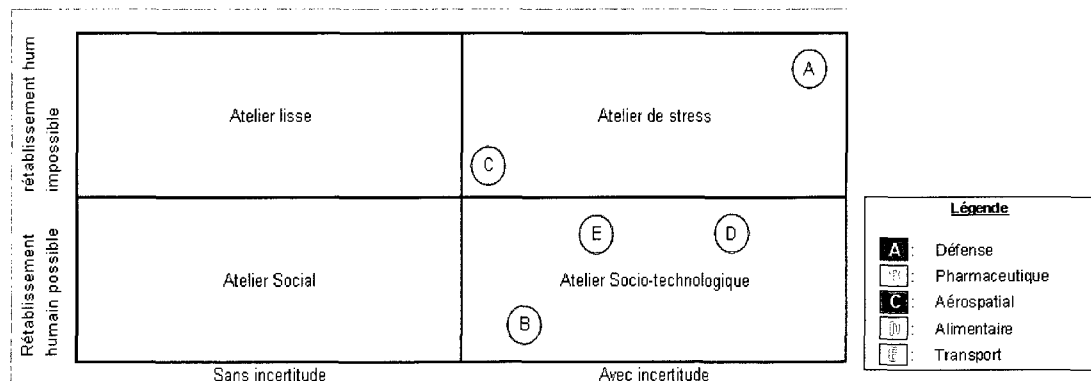


Figure 2.3. - Typologie des unités de production

Les paragraphes suivants présentent les principales caractéristiques de chaque entreprise faisant partie de notre échantillon.

2.3.1 Entreprise A

L'entreprise A est spécialisée dans le secteur de la défense. Elle offre des services de réparation et de remise en état de véhicules de combat et de systèmes de transport. Opérant dans un mode de production discrète et dans un environnement de produits fabriqués pour les stocks, les processus sont hautement variables et un total de 25 858 produits différents y est reporté. Une usine de remise à neuf et un atelier d'usinage composent l'entreprise A comptant un total de 419 employés. Un seul planificateur est appuyé par un groupe de 8 techniciens pour produire le résultat de l'ordonnancement. Les logiciels utilisés sont SAP (R/3 et BW) et MS Excel. Le processus d'établissement des dates d'échéances est fait par le chef planificateur, qui établit la date à laquelle le produit est requis pour le client. À partir de cette date, les durées d'opérations sont créées et placées à rebours selon la nomenclature de produit afin de respecter la date d'échéance proposée. Les nouvelles opérations urgentes peuvent être ajoutées dans l'échéancier en fonction des besoins. Ainsi, le processus d'établissement des dates d'échéance est accompli avec les clients et est aussi généré par les prévisions de l'entreprise.

2.3.2 Entreprise B

L'entreprise B se spécialise dans les produits pharmaceutiques, biotechnologiques et de soins de santé pour les humains et les animaux. Sa structure en micro-usines permet la production en petits lots de produits spécialisés dans un environnement de produits fabriqués pour les stocks et de produits fabriqués sur commande. Les produits sont principalement indépendants les uns des autres. L'entreprise est composée de micro-usines en mode de production discrète et en mode continu ainsi que de laboratoires d'intrants et d'extrants nécessaires à la production de 478 produits distincts. Elle compte 21 planificateurs. Au total, plus de 1300 employés y travaillent. Les logiciels utilisés sont JD Edwards (JDE), Taylor Scheduling System (TESS), Brio et MS Excel.

Le processus d'établissement des dates d'échéances est fait principalement à partir de l'utilisation des prévisions.

2.3.3 Entreprise C

L'entreprise C se spécialise dans les produits et services pour l'industrie de l'aérospatiale comme fournisseur d'équipements de simulation de vols. Elle opère en processus discrets, dans un environnement de produits fabriqués sur demande et a peu de produits. Toutefois, plus de 12 000 pièces sont requises par produit final. Elle emploie près de 200 employés, dont quatre planificateurs. Les logiciels utilisés sont Solomon, PS8, MS Project, Job Boss et MS Excel. Les dates d'échéances sont imposées par les clients.

2.3.4 Entreprise D

L'entreprise D agit dans le secteur alimentaire et produit des biscuits, céréales, barres tendres, bretzels et craquelins. La production de 600 produits différents est effectuée principalement en mode continu utilisant des machines parallèles et produisant dans un environnement de produits fabriqués pour les stocks. Elle a choisi d'utiliser SAP, un système ERP général, et d'y ajouter un module d'ordonnancement développé par des programmeurs maison. L'entreprise emploie près de 500 employés. De plus, c'est un vice-président qui y a la responsabilité de l'ordonnancement. Il gère une équipe de cinq planificateurs et établit les dates d'échéances à partir de l'utilisation des prévisions.

2.3.5 Entreprise E

L'entreprise E œuvre dans le milieu des transports en offrant des services de conception, de fabrication et de support à ces clients. Elle opère en mode de production

discrète et fabrique plus de 8 000 produits dans un environnement de produits fabriqués pour les stocks. Elle utilise le logiciel d'ordonnancement Paradox 7 et envoie ses résultats quotidiennement à la maison mère pour validation. À la suite de cette validation, les dates d'échéances sont générées en étant basées sur les informations validées. Ainsi, le processus d'établissement des dates d'échéances est accompli à l'interne. Plus de 1000 employés y travaillent, dont 20 planificateurs.

2.4 Lien entre les articles

Trois articles sont présentés dans ce mémoire.

Le premier article, à l'annexe A, a été présenté à Paris le 2 avril 2008 à la 7^e conférence internationale de modélisation et simulation. Il décrit les éléments qui affectent l'ordonnancement en environnement de production, il propose une typologie des unités de production, il établit le ratio de planificateur par employé, il décrit les formations typiques des planificateurs, la qualité, le processus itératif de l'ordonnancement, l'utilisation abondante de MS Excel et par conséquent d'un double système d'ordonnancement. Au final, il analyse le taux de respect des dates planifiées en entreprise en fonction de l'efficacité et la complexité, de la mesure de la complexité modifiée, de l'utilisation des outils d'ordonnancement, de l'efficacité organisationnelle et de l'efficacité des processus et des systèmes.

Le deuxième article, à l'annexe B, a été présenté à Madison aux États-Unis le 27 mai 2008 lors de la 2^e conférence internationale sur les systèmes d'informations, la logistique et la chaîne d'approvisionnement. Il analyse les forces et les faiblesses observées dans les entreprises visitées en lien avec des facteurs d'efficacité, d'efficience et de qualité. Il présente un nouveau concept d'ordonnancement fondé sur ces facteurs d'efficacité, d'efficience et de qualité.

Le troisième article, à l'annexe C, a été soumis à la revue internationale "Computers in Industry" le 18 mars 2009. Cette revue est orientée vers les applications de recherche. L'article présente les observations portant sur les caractéristiques des systèmes de production, la préparation des entreprises en lien avec l'ordonnancement, l'utilisation des systèmes d'ordonnancement et la qualité des échéanciers. L'analyse des résultats indique que la performance de la fonction d'ordonnancement dans chacune des entreprises est fonction des taux de respect des dates d'échéances planifiées et de l'efficacité du processus d'ordonnancement.

CHAPITRE 3: ANALYSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter les principaux résultats de notre recherche et une discussion de ceux-ci à la lumière de la revue de la littérature. Ce mémoire est présenté par articles et ainsi, les sections relatives aux résultats et à la discussion sont présentées en annexe dans chacun des trois articles. Les principaux résultats sont présentés à la section 3.2 et une discussion générale est présentée à la section 3.3.

3.2 Principaux résultats

Les principaux résultats peuvent être classifiés par type de caractéristiques. Ainsi, les résultats liés aux caractéristiques des systèmes de production sont présentés à la section 3.2.1, ceux liés aux caractéristiques de la préparation des entreprises sont montrés à la section 3.2.2, ceux liés à l'utilisation des systèmes d'ordonnancement sont montrés à la section 3.2.3 et ceux liés à la qualité des échéanciers sont présentés à la section 3.2.4.

3.2.1 Résultats liés aux caractéristiques des systèmes de production

Les résultats d'évaluation des cinq caractéristiques des systèmes de production dans cinq entreprises de production sont présentés à la figure 3.1. À la lumière des valeurs des caractéristiques des systèmes de production illustrées à la figure 3.1, des types d'unités de production illustrés à la figure 2.3 et de l'origine des dates d'échéances illustrée au tableau 2.1, il est constaté que l'entreprise A affiche le plus haut niveau de

complexité et l'entreprise C, le plus bas niveau. Les entreprises B, D et E ont des résultats dans la moyenne de l'industrie.

Quelques données quantitatives ont été recueillies au cours de ce projet. Les figures 3.1 à 3.4 affichent les résultats détaillés par entreprise pour toutes les caractéristiques.

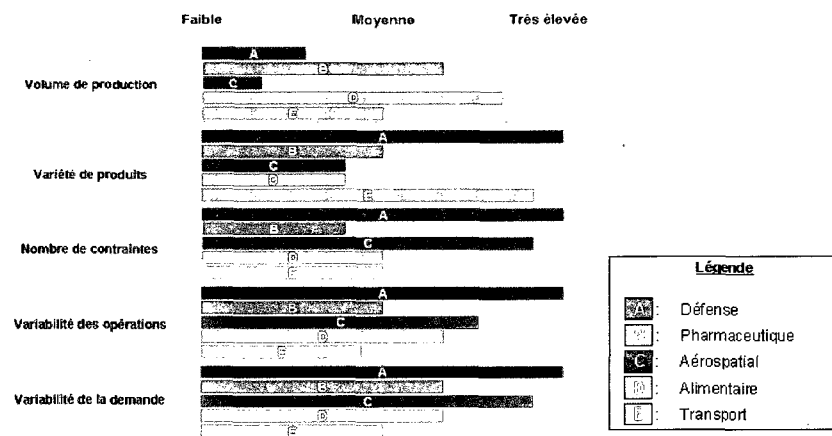


Figure 3.1. - Résultats d'évaluation de cinq caractéristiques des systèmes de production dans cinq entreprises de production

En considérant les observations faites lors des visites en entreprises (voir annexe B) et la moyenne des résultats des cinq caractéristiques de la figure 3.1, on note que l'entreprise A affiche une efficacité faible parce que les efforts d'ordonnancement n'entraînent pas une hausse des unités de production. La façon dont l'entreprise utilise ses systèmes d'ordonnancement, génère ses rapports et profite de ses rencontres a bien peu d'impacts sur les décisions d'entreprises sur le plancher. De plus, les échéanciers proposés varient grandement. Au final, l'entreprise ne respecte pas ses contraintes.

L'entreprise B, en considérant les observations faites lors des visites en entreprises (voir annexe B) et la moyenne des résultats des cinq caractéristiques de la figure 3.1, présente une mesure de l'efficacité excellente de sorte que cette entreprise peut être

considérée comme exemplaire. Ses échéanciers optimisent les quantités des unités de production et sont propices à des décisions rapides et sur place, malgré la multitude de scénarios à évaluer causée par les fréquents changements de la production et de la chaîne d'approvisionnement. Toutefois, l'entreprise B a une structure lourde pour la production des rapports.

Dans l'entreprise C, les résultats de la mesure de l'efficacité sont faibles car les échéanciers sont constamment révisés. De plus, les outils d'ordonnancement utilisés n'engendrent que bien peu de bonnes décisions d'entreprises et les différents modules des outils utilisés ne communiquent pas entre eux. Aussi, les échéanciers n'optimisent les unités de production en aucun cas et ne permettent pas de respecter les contraintes.

Dans l'entreprise D, l'efficacité est grande étant donné que les efforts d'ordonnancement optimisent les unités de production et entraînent de bonnes décisions de gestion par la génération d'échéanciers stables qui montrent le minimum de complexité. Néanmoins, la robustesse des solutions est affectée par les contraintes de temps étant donné les dates de péremption liées à l'ordonnancement de produits alimentaires.

Dans l'entreprise E, l'efficacité est grande également puisque les efforts d'ordonnancement permettent de respecter les contraintes, d'optimiser les unités de production, d'éviter la complexité et de fournir des échéanciers robustes et éclairants.

3.2.2 Résultats liés aux caractéristiques de la préparation des entreprises

Nous avons aussi évalué les caractéristiques organisationnelles des entreprises visitées. Les valeurs obtenues pour ce qui est de la précision des responsabilités, du ratio de planificateurs par employé de production, de la formation interne, du niveau de scolarité à l'embauche et de la progression du cheminement de carrière sont présentées à

la figure 3.2. En considérant les moyennes des valeurs des caractéristiques montrées à la figure 3.2 et les observations faites lors des visites en entreprises (voir annexe B), nous notons que l'entreprise B affiche la plus grande maturité organisationnelle et que l'entreprise A montre le plus faible niveau d'efficacité organisationnelle. La maturité d'une entreprise est obtenue ici par une valeur élevée sur les cinq caractéristiques de la préparation des entreprises. Les entreprises C, D et E montrent des résultats dans la moyenne de l'industrie.

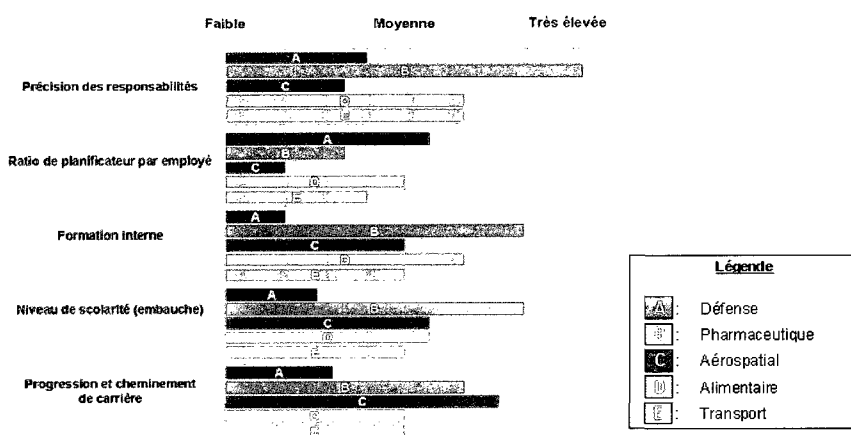


Figure 3.2. – Résultats d'évaluation de cinq caractéristiques organisationnelles dans cinq entreprises de production

Chose surprenante, on note que le ratio de planificateur par employé se situe à près de 2% pour l'ensemble des entreprises tel qu'illustré au tableau 2.2. La variation des ratios de planificateur par employé montrés à la figure 3.2 est minimale sachant que l'écart-type est très faible et que les pourcentages varient entre 1.20% et 2.14%.

Nous notons aussi une grande variation dans le niveau de scolarité des responsables de l'ordonnancement à l'embauche dans les entreprises visitées. Le niveau d'éducation des planificateurs au Québec est intimement lié aux spécificités locales et l'expertise est caractérisée par la combinaison de trois éléments :

- Le niveau de formation académique ;
- Les certifications professionnelles ;

- Les années d'expérience sur le marché du travail.

Au Québec, les études postsecondaires comprennent des études collégiales de deux ans, dites générales, ou de trois ans, dites techniques. Par la suite, les étudiants peuvent poursuivre au premier cycle universitaire pour obtenir le baccalauréat qui est de trois ans en administration ou de quatre ans en ingénierie. Ensuite vient la maîtrise qui permet d'accéder à un domaine de spécialisation et requiert environ deux ans.

Les formations académiques des planificateurs interviewés dans les cinq entreprises étaient variées. Le diplôme qui est généralement requis comme critère d'embauche des candidats de l'ordonnancement est soit le diplôme d'études collégiales (DEC), le baccalauréat (BAC), niveau ingénieur ou administration de la gestion des opérations, ou la maîtrise (M.Ing. ou recherche (M.Sc.A.)). Cependant, beaucoup d'employés sont formés à l'interne. D'autres suivent des formations reconnues et accréditées par le gouvernement.

La formation professionnelle des planificateurs au Canada est aussi sujette à de grandes variations, car il n'y a aucun ordre professionnel qui régleme cette profession. L'*Association for the Advancement of Cost Engineering* (AACE) propose une certification *Planning and Scheduling Professionnal* (PSP). L'*American Production and Inventory Control Society* (APICS) propose aussi une certification *Certified in Production and Inventory Management* (CPIM) tandis que l'*Institute of Project Management* (PMI) propose une certification de *Project Management Profesional* (PMP). Toutes ces certifications couvrent des éléments de connaissance aux planificateurs et sont habituellement valorisées par les entreprises rencontrées.

L'analyse des années d'expérience des acteurs de l'ordonnancement sur le marché du travail a aussi fait partie de l'analyse. Les planificateurs interviewés montrent des profils variés; certains étaient fraîchement sortis de l'école alors que d'autres avaient

plus de 30 ans d'expérience. Nous avons d'ailleurs observé un nombre important d'acteurs dans la quarantaine qui cumulaient entre 10 et 15 ans d'expérience au sein de leur industrie. Les entreprises visitées avaient formé des équipes en fonction de l'expérience des personnes de façon à obtenir un bénéfice tout en maximisant le développement des employés. Les résultats obtenus sont montrés au tableau 2.2.

En somme, les employés ont différents niveaux d'expérience et de formation.

3.2.3 Résultats liés aux caractéristiques de l'utilisation des systèmes d'ordonnancement

Les résultats de l'évaluation des processus et des systèmes d'ordonnancement sont présentés à la figure 3.3. Le processus d'établissement des dates de début et de fin des ordres, le processus de suivi, le processus de correction, les systèmes d'ordonnancement et l'intégration des processus ont été analysés. En considérant les moyennes des valeurs des caractéristiques montrées à la figure 3.3, nous notons que les entreprises B et D affichent une plus grande maturité liée à leurs processus et systèmes tandis que l'entreprise A affiche peu de rigueur dans la mise en place des processus et des systèmes d'ordonnancement. Il est aussi intéressant de noter que les entreprises B et D, qui utilisent des systèmes d'ordonnancement performants, finissent par afficher la meilleure qualité dans les échéanciers. Par contre, l'entreprise B est la moins efficiente en fonction des coûts de main-d'œuvre et des équipements requis afin de produire l'ordonnancement. À l'opposé, l'entreprise D a les meilleures pratiques en utilisant un minimum de main-d'œuvre de planification tout en produisant un ordonnancement qui donne les meilleurs résultats en terme d'efficacité organisationnelle. Les planificateurs de l'entreprise D sont embauchés avec un bon niveau d'éducation, avec des possibilités de formations additionnelles et les outils d'ordonnancement utilisés représentent les meilleurs disponibles sur le marché. L'entreprise C offre l'opportunité d'une bonne progression de carrière à l'interne en ordonnancement et son personnel

d'ordonnancement est bien instruit. Toutefois, les dates d'échéance sont constamment révisées. Le processus de correction de cette entreprise a aussi besoin d'être développé. De plus, les systèmes d'ordonnancement qui sont utilisés ne correspondent pas au besoin. La preuve est que plusieurs documents liés à la pratique de l'ordonnancement qui sont facilement créés par un système d'ordonnancement standard sont manipulés dans l'entreprise C par des logiciels additionnels. Dans l'entreprise E, les responsabilités en ordonnancement sont bien maîtrisées par le personnel et cette entreprise a aussi montré de bons processus de correction de suivi. Les planificateurs sont formés à l'interne et le processus d'établissement des dates d'échéances est très fortement établi. Toutefois, le système d'ordonnancement est vieux et désuet. La preuve est que des documents liés à la pratique de l'ordonnancement et qui sont facilement créés par un système d'ordonnancement standard sont manipulés à plusieurs reprises dans le but d'obtenir la forme et le format requis.

L'entreprise A utilise un bon logiciel d'ordonnancement mais le processus d'ordonnancement est bien peu compris par les planificateurs. Le processus d'établissement des dates d'échéances varie dans le temps et reflète une piètre qualité des procédures de correction et de suivi. Les planificateurs de cette entreprise sont moins éduqués, ne participent pas à des formations additionnelles et affichent une faible progression de carrière. De plus, ils ne comprennent pas la pleine étendue de leurs fonctions.

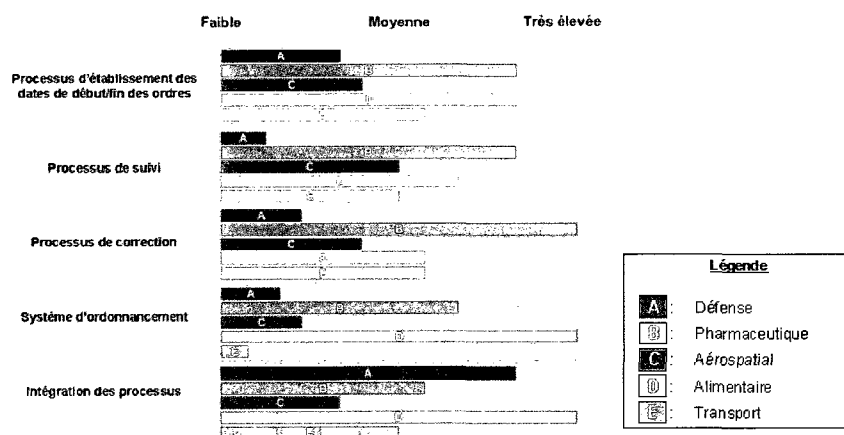


Figure 3.3. - Résultats d'évaluation de cinq caractéristiques des processus et des systèmes dans cinq entreprises de production

3.2.4 Résultats liés à la qualité des échéanciers

Bien qu'il existe différentes façons d'évaluer la qualité du résultat de l'ordonnancement, nous avons ici cherché à la mesurer uniquement en fonction du taux de respect des dates d'échéances planifiées par rapport aux dates d'échéances actualisées. La figure 3.4 illustre la capacité de chacune des entreprises analysées à satisfaire ce critère.

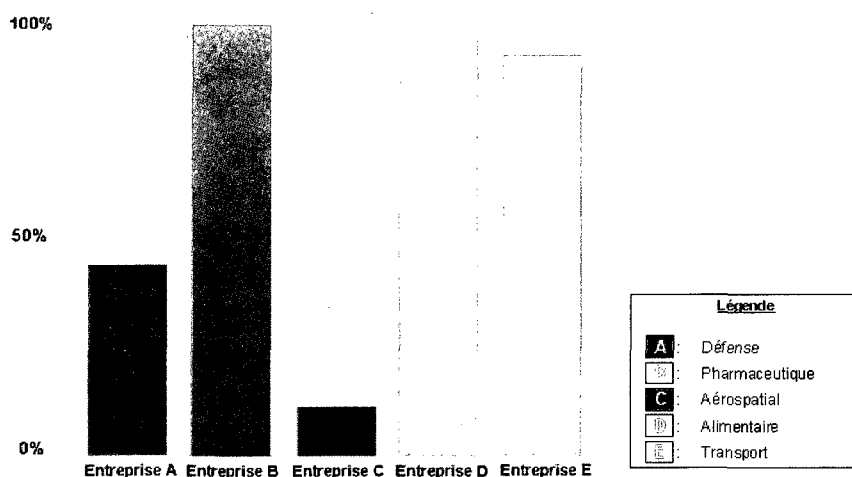


Figure 3.4. - Taux de respect des dates planifiées

Le faible taux de respect de l'entreprise A s'explique en grande partie par le caractère hautement dynamique et aléatoire de son environnement. L'entreprise C présente des résultats décevants et difficilement explicables sachant qu'elle opère dans un environnement de production plus stable. Les trois autres entreprises affichent des taux élevés de respect des dates planifiés. Comme prévu, les entreprises B, D et E, qui sont dans un type d'environnement à flux continu, semblent plus enclines à respecter les dates planifiées.

Dans l'entreprise C, les dates d'échéances sont une fonction des dates d'échéances des clients. Dans les entreprises B et D, les dates d'échéances sont en relation avec les prévisions de l'entreprise. Dans les entreprises A et E, les dates d'échéances sont un mélange d'exigences des clients et de contraintes imposées par les prévisions.

3.3 Discussion générale

Du point de vue des systèmes de production, nous croyons que le volume de production n'est pas significatif car il n'a pas impact sur la performance de la fonction d'ordonnancement. Une meilleure mesure pourrait être le nombre d'opérations à ordonnancer exprimé en une mesure mixte de volume, nombre d'ordres d'opérations et complexité de la gamme d'opérations. Les quatre autres caractéristiques des systèmes de production identifiées à la figure 3.1 sont considérées comme significatives ayant un impact sur la performance de la fonction d'ordonnancement.

Nous considérons les valeurs des caractéristiques de la maturité des entreprises, illustrées à la figure 3.2, comme ayant un impact sur la performance de la fonction d'ordonnancement. De façon surprenante, nous avons observé que le ratio de planificateur par employé est près de 2% pour les cinq entreprises. L'écart type est faible, variant de 1.20% à 2.14%. Le nombre de planificateurs est faible et relativement

constant dans les cinq entreprises visitées. Des visites dans des entreprises supplémentaires seraient utiles afin de valider si cette constante est valable pour l'ensemble du marché.

Nous considérons les valeurs des caractéristiques des processus et des systèmes d'ordonnancement, montrées à la figure 3.3, comme significatives ayant un impact sur la performance de la fonction d'ordonnancement. Aussi, il est intéressant de constater que chacune des entreprises utilise MS Excel à divers degrés. De plus, les systèmes d'ordonnancement utilisés dépendent de la complexité de l'environnement de production. Le besoin de systèmes d'ordonnancement est plus grand dans les entreprises en mode de production de type atelier multi-gamme.

D'un point de vue logiciel, aucun système d'ordonnancement ne peut opérer efficacement sans boucle de rétroaction afin de permettre au planificateur de prendre des décisions rapides et en confiance. Les planificateurs passent en moyenne 50% de leur temps à collecter de l'information et à produire différents plans de production. La coordination entre les différents services et la correction du plan initial occupent l'autre moitié de leur temps. Cette réalité fut observée dans tous les cas, peu importe la fréquence de l'évaluation des prévisions et des mises à jour de l'échéancier.

Ce constat nous amène à redéfinir le processus d'ordonnancement comme un ensemble d'activités intégré qui comprend la collecte des données, le calcul (pour la production des échéanciers), la coordination, et le suivi et la correction de la production (voir la figure 3.5). Tel qu'illustré dans Guévremont *et al.* (2008a), ce processus est itératif et est raffiné suite à chaque cycle complété. Ainsi, une telle définition nous oblige à considérer d'autres acteurs dans le processus d'ordonnancement en entreprise que le seul planificateur. Les superviseurs ou contremaîtres de production sont d'ailleurs des acteurs clés de l'ordonnancement en faisant différentes activités pour peaufiner, coordonner et corriger les échéanciers de production. Dans tous les cas, nous

avons noté que les superviseurs de production modifient l'échéancier initialement produit par le planificateur de façon à tenir compte de contraintes locales non prises en compte par le planificateur et les systèmes d'ordonnancement.

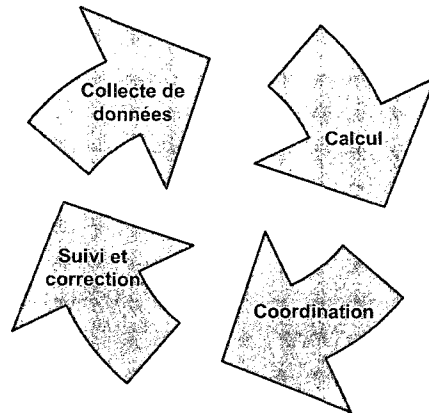


Figure 3.5. - Processus itératif de l'ordonnancement de la production

Pour ce qui est des systèmes d'information, nous avons noté que les entreprises D et E ont développé leurs propres outils. Les entreprises A, B et C ont préféré utiliser des applications commerciales. Les facteurs de choix incluent la qualité des solutions générées et la quantité d'options tant pour l'utilisation que dans la présentation des résultats.

Nous avons constaté dans les entreprises A, B et D l'utilisation d'un double système d'ordonnancement : un premier était utilisé par les employés du plancher de la production et un deuxième par les employés de bureau et les gestionnaires. Ceci alimente l'idée fréquemment évoquée que les gestionnaires posent un regard sur des opérations en ayant une vision erronée de la situation réelle.

Les entreprises visitées montrent des différences significatives quant au nombre de planificateurs et aux logiciels d'ordonnancement utilisés. Cependant, notons que les revenus annuels ainsi que le nombre d'employés totaux varient tout autant.

Nous constatons que l'entreprise A fait face à une production complexe et montre une faiblesse sur les plans organisationnels et des systèmes. À l'opposé, l'entreprise B possède une excellente qualité d'échéancier mais affiche une structure imposante relativement à la complexité de sa production ce qui lui confère une performance moyenne pour sa fonction d'ordonnancement. Ainsi, les entreprises A et B démontrent une faiblesse sur le plan de l'efficience. L'entreprise A montre une production complexe qui pourrait expliquer ce résultat mais l'entreprise B est un simple atelier à flux continu.

En termes d'efficacité, l'analyse des résultats montre que l'entreprise A, qui est classée dans un atelier de stress, montre un taux de respect des dates planifiées relativement faible, soit 40%, ce qui signifie une faible capacité à répondre au changement de production. En comparaison, l'entreprise C, qui opère dans un atelier social, montre un taux de respect des dates très faible malgré le fait qu'elle soit dans un environnement de production plus facile à maîtriser. Cette faiblesse s'explique par des lacunes organisationnelles et par le manque de rigueur dans les processus. Les systèmes utilisés sont également non-efficaces à plusieurs égards.

De façon plus globale, la complexité des systèmes de production, telle que définie dans les sections ci-haut, semble être le facteur principal ayant de l'influence sur la qualité des échéanciers de production. Les résultats de l'entreprise C sont toutefois incohérents avec cette dernière affirmation, ce qui nous amène à conclure que le volume de production n'apporte pas de difficultés additionnelles aux planificateurs et leurs systèmes d'ordonnancement.

Les logiciels d'ordonnancement sont souvent considérés comme essentiels pour établir des dates d'échéances fiables. Dans les cinq cas, plusieurs planificateurs utilisaient systématiquement des logiciels d'ordonnancement. D'autres les utilisaient

partiellement ou localement, c'est-à-dire seulement sur certains postes de travail, ou encore dans certaines entreprises les planificateurs n'avaient aucun outil pratique d'ordonnancement à portée de main. Nos résultats, montrés à la figure A.10, indiquent que la performance de la fonction d'ordonnancement n'est pas proportionnelle au degré d'utilisation des outils logiciels d'ordonnancement.

Il est intéressant de comparer les caractéristiques des systèmes de production en terme d'efficacité qui se traduit par le respect des dates d'échéances planifiées, et d'efficience du processus pour les différentes entreprises afin d'obtenir la performance de leur fonction d'ordonnancement. La mesure d'efficacité est établie en considérant tous les facteurs de la figure 1.1. Les entreprises D et E obtiennent les performances les plus élevées, l'entreprise B affiche une performance moyenne et les entreprises A et C ont les performances les plus faibles. Tel qu'illustré aux figures A.8 à A.10, il ne semble pas y avoir de relation directe entre l'efficacité et la complexité ou l'efficience et la complexité. Nous notons toutefois que la performance de la fonction d'ordonnancement est plus grande dans les entreprises à flux continu.

CHAPITRE 4: CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ce chapitre présente un sommaire de la recherche que nous avons effectuée et ses contributions. De plus, nous présentons des recommandations aux praticiens et chercheurs, discutons des limites de ce mémoire et proposons des avenues de recherches futures. Ces sujets sont traités dans les deux sections ci-après.

4.1 Sommaire de notre recherche et contributions

Cette recherche a d'abord permis d'identifier les activités et les joueurs impliqués dans un processus d'ordonnancement de la production. Étant donné qu'il n'existe pas de modèle unique pour caractériser la qualité du processus et des résultats de l'ordonnancement, le but des travaux présentés dans ce mémoire a été atteint en offrant un cadre de recherche basé sur les caractéristiques des systèmes de production, de la préparation organisationnelle et de l'utilisation des systèmes d'ordonnancement afin d'établir la performance de la fonction d'ordonnancement. Nos observations démontrent clairement que le processus d'ordonnancement est bien plus qu'une activité de calcul ou d'actionnement de boutons puisque les superviseurs de production y jouent un rôle clé.

À la lumière des résultats que nous avons obtenus, l'utilisation des progiciels modernes d'ordonnancement ne peut garantir à elle seule une grande performance de la fonction d'ordonnancement, ni son efficacité ou son efficience. En fait, la considération de l'efficacité et de l'efficience prises ensemble définit l'art de l'ordonnancement dans un contexte plus large en liant le travail de l'organisation avec le processus d'ordonnancement et ses résultats. Les entreprises affichent souvent des retards dans leurs dates d'échéances en raison de multiples changements de production. Le processus de l'ordonnancement implique une évolution continue des dates d'échéances qui

résultent en difficultés à évaluer et à comparer les entreprises entre elles pour ce qui est de la qualité de leurs échéanciers.

Les caractéristiques des systèmes de production (variété des produits finis, nombre de contraintes, variabilité des opérations et variabilité de la demande), de l'état de la préparation organisationnelle (niveau de formation, niveau de conformité au processus de planification et ratio de planificateur par employé) et de l'utilisation des systèmes d'ordonnancement (choix du système d'ordonnancement, niveau d'assimilation du système d'ordonnancement et niveau d'intégration du système d'ordonnancement avec les progiciels de gestion intégrés de l'entreprise) ont des impacts sur la qualité des échéanciers, qui est une bonne mesure d'efficacité, et sur l'efficacité du processus d'ordonnancement.

Malgré le petit nombre d'entreprises recensées, nous concluons que la complexité de l'environnement de production et les décisions prises touchant l'organisation du travail et la rigueur des processus sont des facteurs plus déterminants. Nous pouvons conclure que l'ordonnancement n'est pas accompli par un seul employé ni par un simple système; un résultat profitable à une entreprise s'obtient par une bonne évaluation de la performance de sa fonction d'ordonnancement.

4.2 Recommandations, limites de ce mémoire et recherches futures

Les recherches en ordonnancement devraient approfondir les connaissances liées aux facteurs qui influencent la performance de la fonction d'ordonnancement en entreprise. Avec les développements des logiciels, des technologies, du savoir-faire et des processus, il est possible que l'efficacité et la qualité de la fonction d'ordonnancement en entreprise soient dépendantes d'autres facteurs considérés présentement comme secondaires.

La question clé qui demeure au cœur de cette recherche et qui demande une réponse est “ quelles caractéristiques les entreprises manufacturières doivent-elles considérer afin d’obtenir une fonction d’ordonnancement optimale?” Les travaux de ce mémoire apportent une réponse partielle à cette question et des recherches futures sont requises. Ces recherches pourraient développer des algorithmes de travail afin d’identifier précisément la contribution d’un déterminant donné par rapport à l’optimisation globale de la fonction d’ordonnancement.

La quantification de tels déterminants serait utile à l’industrie et nécessite plus d’élaboration de la part des praticiens et des chercheurs. Les travaux de ce mémoire tiennent compte de plusieurs déterminants en lien avec la fonction d’ordonnancement sans toutefois proposer d’analyse détaillée avec, par exemple, une analyse de sensibilité, une analyse de Monte Carlo ou encore un sondage auprès des responsables de l’ordonnancement dans l’industrie manufacturière.

De plus, les recherches exposées par ce mémoire ne proposent pas de liste des meilleures pratiques de l’industrie en matière d’ordonnancement. Des recherches futures pourraient analyser différents scénarios afin d’établir un gabarit de départ permettant de dresser cette liste. Ceci aiderait les praticiens et les professionnels à éviter les boutades et à adopter ces meilleures pratiques pour leurs opérations et leurs projets. Le cadre de recherche, les vues et les méthodes d’analyses proposées dans ce mémoire peuvent être employées comme point de départ pour l’analyse des besoins et des requis d’une fonction d’ordonnancement d’une entreprise.

Des recherches futures pourraient se concentrer sur une plus grande utilisation, crédibilité et acceptation des déterminants et indicateurs de performance par les parties prenantes dans l’industrie. Par exemple, le cadre de recherche proposé et ses concepts

devraient être appliqués dans l'industrie et améliorés. Ceci permettrait de réduire les grandes variations de la performance de la fonction d'ordonnancement dans l'industrie.

Des nouvelles considérations sont apparues en ordonnancement depuis l'émergence d'une économie globalisée. La fonction d'ordonnancement était traditionnellement analysée par une certaine partie strictement responsable d'un processus ou d'une activité. Depuis les innovations récentes où les parties prenantes travaillent dans un environnement de partenariat accentué (ex. : chaîne d'approvisionnement globale, lean, qualité totale, etc.), la performance de la fonction d'ordonnancement prend de l'importance pour assurer une compétitivité dans ce nouveau contexte. Des recherches futures devraient quantifier plus précisément l'apport de ces aspects de l'environnement de travail.

De plus, une évaluation plus exhaustive des entreprises permettrait certainement de raffiner notre analyse. La comparaison de divers facteurs en fonction des types d'opérations et des secteurs industriels semble également une avenue de recherche prometteuse. La recherche dans ce domaine pourrait continuer en investiguant des cas additionnels. Les résultats de ces futures recherches pourraient aider à évaluer la performance de la fonction d'ordonnancement dans d'autres entreprises.

BIBLIOGRAPHIE

- Ahmad, M.M., and Dhafr, N. (2002). Establishing and improving manufacturing performance measures. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 18, 171-176.
- Aytug, H., Lawley, M.A., McKay, K., Mohan, S., and Uzhooy, R. (2005). Executing production schedules in the face of uncertainties: A review and some future directions. *European Journal of Operational Research*, 161, 86-110.
- Baker, K.R. (1974). *Introduction to scheduling and sequencing*, New-York, John Wiley & Sons.
- Baptiste, P., Giard, V., Haït, A., et Soumis, F. (2005). *Gestion de production et ressources humaines, méthodes de planification dans les systèmes productifs*, Presses internationales Polytechnique de Montréal.
- Bauer, A., Rowden, R., Browne, J., Duggan, J., and Lyons, G. (1991). *Shop floor control systems: From design to implementation*, London, Chapman & Hall.
- Blackstone Jr., J.H. (2008). APICS Dictionary 12th Edition, The standard for excellence in the operations management profession, APICS The association for operations management.
- Bonfill, A., Espuna, A., and Puigjaner, L. (2005). Addressing robustness in scheduling batch processes with uncertain operation times. *Industrial Engineering Chemistry Research*, 44(5), 1524-1534.

- Boucher, X., Bonjour, E., and Grabot, B. (2007). Formalisation and use of competencies for industrial performance optimization: a survey. *Computers in Industry*, 58, 98-117.
- Cavalieri, S., Terzi, S., and Macchi, M. (2007). A benchmarking service for the evaluation and comparison of scheduling techniques. *Computers in Industry*, 58, 656-666.
- Cirne, W., Brasileiro, F., Paranhos, D., Goes, L.F.W., and Voorsluys, W. (2007). On the efficacy, efficiency and emergent behavior of task replication in large distributed systems. *Parallel Computing*, 33, 213-234.
- Conway, R.N., Maxwell, W.L., and Miller, L.W. (1967). *Theory of scheduling*, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- Crawford, S., and Wiers, V.C.S. (2001). *From anecdotes to theory: a review of existing knowledge on human factors of planning and scheduling*, in: MacCarthy, B.L. and J.R. Wilson (Eds), *Human performance in planning and scheduling*, London: Taylor and Francis, 15-43.
- Dessouky, M.I., Moray, N., and Kijowski, B. (1995). Strategic behavior and scheduling theory. *Human Factors*, 7(3), 443-472.
- de Villers, M.E. (1993). *Dictionnaire de la gestion de la production et des stocks*, Éditions Québec/Amérique et Presses HEC.
- Drummond, M. (1995). Scheduling benchmarks and related resources. Consulté le 31 mars 2007, tiré de <http://ic-www.arc.nasa.gov/ic/projects/xfr/papers/benchmark-article.html>

- Eisenhardt, K.M. (1989). Building theories from case study research, *Academy of Management Review*, 14(4), 532-550.
- ElMaraghy, H.A., Kuzgunkaya, O., and Urbanic, R.J. (2005). Manufacturing system comparison complexity. *CIRP – Manufacturing Technology*, 54(1), 445-450.
- Emerson , H. (1913). *Twelve Principles of Efficiency*. The Engineering Magazine, New York.
- Fichman, R.G., and Kemerer, C.F. (1997). The assimilation of software process innovations: an organizational learning perspective, *Management Science*, 43(10), 1345-1363.
- Frizelle, G., and Woodcock, E. (1995). Measuring complexity as an aid to developing operational strategy. *International Journal of Operations and Production Management*, 15(5), 26-39.
- Galloway, P.D. (2006a). Comparative study of university courses on critical-path method scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(7), 712-722.
- Galloway, P.D. (2006b). Survey of the construction industry relative to the use of CPM scheduling for construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(7), 697-711.
- Guévremont, M., Baptiste, P., and Pellerin, R. (2008a). L'ordonnancement de la production : bien plus qu'une question de calcul. *Proceedings of the seventh*

international conference on modelisation and simulation. Paris, France, pp. 1704-1712.

Guévremont, M., Baptiste, P., and Pellerin, R. (2008b). The art of scheduling: a cross-case analysis, *Proceedings of the international conference on information systems, logistics and supply chain*, Madison, Wisconsin, USA, pp. 275-285.

Herrmann, J.W. (2006). *Handbook of production scheduling*, Springer.

Herroelen, W. (2005). Project scheduling – Theory and Practice. *Production and Operations Management*, 14(4), 413-432.

Hindi, K.S., and Belarbi, K. (1992). Detailed scheduling of a packing system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 7, 218-224.

Jiao, J., and Tseng, M.M. (2000). Understanding product family for mass customization by developing commonality indices. *Journal of Engineering Design*, 11(3), 225-243.

Johnson, L.M.jr, Dileepan, P., and Sen, T. (1990). Knowledge based scheduling systems: a framework. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1(2), 117-123.

Kariuki, S., and Efstathiou, J. (2002a). Information theory as a measure of schedule complexity. *Advances in Manufacturing Technology XVI: proceedings of the eighteenth National Conference on Manufacturing Research*, Leeds Metropolitan University, United Kingdom, pp. 479-483.

- Kariuki, S., and Efstathiou, J. (2002b). Schedule adherence as a performance measure. *Seventh International Conference on Manufacturing and Management*. PCM'2002 Thailand, pp. 228-233.
- Kempf, K., Uzsoy, R., Smith, S., and Gary, K. (2000). Evaluation and comparison of production schedules. *Computers in Industry*, 42, 203-220.
- Kempf, K.G. (1994). Scheduling semiconductor wafer production, in: Zweben, M. and M.S. Fox (Eds.). *Intelligent Scheduling*, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 517-544.
- Kempf, K.G., Russell, B., Sidhu, S., and Barett, S. (1991). AI-based schedulers in manufacturing practice: Report of a panel discussion. *AI Magazine*, 5, 46-55.
- Kim, G., Park, C.S., and Yoon, K.P. (1997). Identifying investment opportunities for advanced manufacturing systems with comparative-integrated performance measurement. *International Journal of Production Economics*, 50, 23-33.
- Kreipl, S., and Pinedo, M. (2004). Planning and scheduling in supply chains: An overview of issues in practice. *Production and Operations Management*, 13(1), 77-92.
- Lin, F.T. (2002). Fuzzy job-shop scheduling based on ranking level (λ , 1) Interval-valued fuzzy numbers. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 10(4), 510-522.
- Lucertini, M., Pacciarelli, D., and Pacifici, A. (1998). Modeling an assembly line for configuration and flow management. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 11(1-2), 15-24.

- MacCarthy, B.L., and Wilson, J.R. (2001). *Human performance in planning and scheduling*, Taylor and Francis.
- Macchiaroli, R., and Riemma, S. (2002). A negotiation scheme for autonomous agents in job shop scheduling. *International Journal of Integrated Manufacturing*, 15(3), 222-232.
- Mahmoud, H., and Von Gaza, H. (1990). Development of performance indicators using vehicle and crew scheduling data bases. *Computer-aided transit scheduling: proceedings of the Fifth International Workshop on Computer-aided Scheduling of Public Transport*, Canada, pp. 85-95.
- Mazzola, J.B., Neebe, A.W., and Rump, C.M. (1998). Multiproduct production planning in the presence of work-force learning. *European Journal of Operational Research*, 106, 336-356.
- McKay, K., Pinedo, M., and Webster, S. (2002). Practice-focused research issues for scheduling systems. *Production and Operations Management*, 11(2), 249-258.
- Niazi, M, Wilson, D., and Zowghi, D. (2007). Organisational readiness and software process improvement. *Lecture notes in computer science*, 96-107.
- Neely, A. (1999). The performance measurement revolution: why now and what next? *International Journal of Operations and Production Management*, 19(2), 205-228.
- Pellerin, R., Baptiste, P., Robert, J.M., Guévremont, M., Proulx, J.F., and Saenz de Ugarte, B. (2007a). Scheduling research and application review, Lean scheduling project Confidential Report no.1, SAP AG and École Polytechnique de Montréal.

- Pellerin, R., Baptiste, P., Robert, J.M., Dominik, L., Guévremont, M., Proulx, J.F., and Saenz de Ugarte, B. (2007b). Requirements analysis and scheduler concept, Lean scheduling project Confidential Report no.2, SAP AG and École Polytechnique de Montréal.
- Pellerin, R., Baptiste, P., Robert, J.M., Dominik, L., Guévremont, M., Proulx, J.F., and Saenz de Ugarte, B. (2008a). A lean scheduling concept for SMEs, Lean scheduling project Confidential White Paper, SAP AG and École Polytechnique de Montréal.
- Pellerin, R., Baptiste, P., Robert, J.M., Dominik, L., Guévremont, M., Proulx, J.F., and Saenz de Ugarte, B. (2008b). Lean scheduling project final confidential prototype for SMEs, SAP AG and École Polytechnique de Montréal.
- Pinedo, M. (1992). Scheduling, in: Salvendy, G. (Ed.). *Handbook of Industrial Engineering*, 2nd ed., Chichester, West Sussex, UK: Wiley-Interscience, 2131-2153.
- Pinedo, M.L. (2005). *Planning and scheduling in manufacturing and services*, New York, Springer-Verlag.
- Rigby, B., Lasdon, L.S., and Waren, A.D. (1995). The evolution of Texaco's blending systems: From OMEGA to StarBlend. *Interfaces*, 25(5), 64-83.
- Schumaker, J., Verwater-Lukszo, Z., and Weijnen, M.P.C. (1999). Disturbances and their impact on scheduling. *Proceedings of the 24th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, 37, 75-79.
- Sisadavan, S., Efstathiou, J., Calinescu, A., and Huaccho Huatuco, L. (2006). Advances on measuring the operational complexity of supplier-customer systems. *European Journal of Operational Research*, 171, 208-226.

- Stuart, I., McCutcheon, D., Handfield, R., McLachlin, R., and Samson, D. (2002). Effective case research in operations management: A process perspective, *Journal of Operation Management*, 20(5), 419-433.
- Taylor, S.G., Stewart, S.M., and Bolander, S.F. (1981). Why the process industries are different. *Production and Inventory Management Journal*, 22(4), 9-24.
- Van Dam, P., Gaalman, G., and Sierksma, G. (1993). Scheduling of packaging lines in the process industry: an empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 30-31, 579-589.
- Van Dam, P., Gaalman, G.J.C., and Sierksma, G. (1998). Designing scheduling systems for packaging in process industries: A tobacco company case. *International Journal of Production Economics*, 56-57, 649-659.
- Vollmann, T.E., Berry, W.L., and Whybark, D.C. (1988). *Manufacturing planning and control systems*, Homewood, IL: Irwin.
- Van Wezel, W., Van Donk, D.P., and Gaalman, G. (2006). The planning flexibility bottleneck in food processing industries. *Journal of Operations Management*, 24, 287-300.
- White, G.P. (1996). A survey and taxonomy of strategy-related performance measures for manufacturing. *International Journal of Operations and Production Management*, 16(3), 42-61.

- Wiers, V.C.S. (1997a). A review of the applicability of OR and AI scheduling techniques in practice. *OMEGA – International Journal of Management Science*, 25(2), 145-153.
- Wiers, V.C.S. (1997b). Human-computer interaction in production scheduling: Analysis and design of decision support systems for production scheduling tasks. Thèse de Doctorat, Université des technologies d'Eindhoven, Pays-Bas.
- Wortman, J.C., Euwe, M.J., Taal, M., and Wiers, V.C.S. (1996). A review of capacity planning techniques within standard software packages. *Production Planning and Control*, 7(2), 117-128.
- Wu, Y, Frizelle, G., and Efstathiou, J. (2007). A study on the cost of operational complexity in customer-supplier systems. *International Journal of Production Economics*, 106, 217-229.
- Yang, T., Lee, R.S., and Hsieh, C. (2003). Solving a process engineer's manpower-planning problem using analytic hierarchy process. *Production Planning and Control*, 14(3), 266-272.
- Yin, R. (1994). Case study research: Design and methods, London: Sage Publications.
- Zoryk-Schalla, A., Fransoo, J.C., and de Kok, T.G. (2004). Modeling the planning process in advanced planning systems. *Information & Management*, 42, 75-87.

ANNEXE A – L'ORDONNANCEMENT DE LA PRODUCTION: BIEN PLUS QU'UNE QUESTION DE CALCUL

Article soumis le 15 octobre 2007; Accepté avec corrections le 20 décembre 2007;

Soumis en version finale le 15 janvier 2008 ; Présenté à Paris le 2 avril 2008.

M. GUÈVREMONT, P. BAPTISTE, R. PELLERIN

École Polytechnique de Montréal

2500, chemin de Polytechnique, Montréal, Québec, Canada H3T 1J4

(Adresse postale: C.P. 6079, succ. Centre- Ville, Montréal, Québec, Canada H3C 3A7)

RÉSUMÉ : Cet article vise à établir les relations existant entre la qualité du résultat de l'ordonnancement et les caractéristiques de l'organisation responsable de cette fonction. Pour y arriver, de multiples interviews et observations ont été réalisés au sein de cinq entreprises de production québécoises. L'analyse des résultats démontrent notamment que le processus d'ordonnancement en entreprise dépasse largement la fonction de calcul et de génération de calendrier de travail. De plus, un bon nombre de facteurs systémiques et organisationnels influencent la qualité du résultat de l'ordonnancement.

MOTS-CLÉS : Ordonnancement, planificateurs, système, mesure, logiciels.

A.1. INTRODUCTION

La grande majorité des entreprises manufacturières a recourt à une forme quelconque d'outils informatiques, variant des tableurs aux progiciels spécialisés, pour supporter leur processus d'ordonnancement de la production. La grande variété des choix de progiciels d'ordonnancement disponibles sur le marché peut s'avérer déroutante pour le

profane. Une analyse sur les sites web de l'*American Production and Inventory Control Society* (APICS), de l'*Institute of Industrial Engineers* (IIE), du *CXP International* et de *productionsscheduling.com* rapporte rapidement plus de 500 produits logiciels d'ordonnancement. De plus, les coûts attachés à l'achat, l'implantation et au fonctionnement de ces systèmes sont parfois difficiles à estimer au départ et peuvent s'avérer astronomiques. Ainsi, il peut être difficile de budgéter adéquatement les sommes requises pour l'implantation et l'exploitation de ces technologies.

L'objectif de cet article est d'offrir un cadre d'analyse pratique pour comparer différents éléments de production, d'organisation, de processus et de systèmes pour effectuer la mise en service de l'ordonnancement en entreprises. Pour ce faire, une base de comparaison approfondie des processus d'ordonnancement reposant sur des données recueillies auprès de cinq entreprises industrielles québécoises est présentée. Bien que certaines données demeurent estimatives ou confidentielles, le présent modèle permet toutefois d'améliorer la compréhension des activités et pré-requis liés aux processus d'ordonnancement en entreprises. L'impact des différents facteurs d'analyse sur la qualité du processus d'ordonnancement, mesurée en fonction du respect des dates planifiées, y est aussi analysé.

Pour y arriver, le présent article présente d'abord une brève revue de la littérature. La démarche de recherche est par la suite présentée à la section 3. Cette section comprend aussi une description du questionnaire et des entrevues et les éléments d'analyses retenus avec les entreprises. Ensuite, la section 4 présente les données et résultats obtenus. Ces derniers sont analysés dans la section 5 et discutés à la section 6. Finalement, une brève conclusion termine cet article en soulignant les avenues de recherche potentielles.

A.2. REVUE DE LA LITTÉRATURE

Depuis les trois dernières décennies, l'ordonnancement a été un produit de recherche d'un point de vue mathématique, incarné par les communautés de recherche opérationnelle, de gestion des opérations et de l'intelligence artificielle. Depuis l'apparition des premiers livres sur l'ordonnancement (Conway *et al.*, 1967; Baker, 1974), plus de 20,000 articles traitants du problème d'ordonnancement ont été publiés (Dessouky *et al.*, 1995). Dans ces recherches, l'ordonnancement est habituellement défini comme "l'allocation d'un ensemble de ressources afin de performer un groupe de tâche". Dans les systèmes de production, cela se traduit comme l'allocation d'un ensemble de machines et d'employés afin de réaliser un groupe d'opérations de production dans une période de temps connue. La résultante de l'ordonnancement est un échéancier, qui est défini comme "un plan faisant référence à une séquence de tâches ou d'opérations à temps définis et nécessaires pour compléter une action" (Vollmann *et al.*, 1988).

De plus, il y a eu des efforts de recherche substantiels orientés dans la conception de systèmes de gestion de la production prenant en compte le problème d'allocation et leur évaluation en situation réelle (Bauer *et al.*, 1991; Kempf *et al.*, 1991; Kempf, 1994; Pinedo, 1992). Les résultats des efforts variés de développement de ces systèmes ont été utilisés à bonnes fins dans certaines industrie reposant sur des précédés industriels en continu (Rigby *et al.*, 1995) mais peu d'applications ont été appliquées au cas de job shop (Wiers, 1997a).

Plus récemment, certains chercheurs se sont concentrés sur l'analyse des tâches effectuées par les responsables de l'ordonnancement et le déroulement des processus d'ordonnancement au sein d'entreprises (Crawford and Wiers, 2001). La modélisation du processus d'ordonnancement est cependant difficile du fait que les processus d'ordonnancement sont propres à chacune des entreprises. Par exemple, MacCarthy et Wilson (2001) ainsi que Herrmann (2006) citent le déroulement typique de

l'ordonnancement dans des entreprises variées telle une usine manufacturière d'outils, une firme d'ingénierie, une usine de linge, une usine de feuilles de métal et une usine pharmaceutique. Les mêmes auteurs citent les descriptions des fonctions liées aux opérateurs ainsi qu'aux principaux acteurs de l'ordonnancement. Ainsi, ils considèrent les directeurs, les gestionnaires, les planificateurs, les *ordonnanceurs* et leurs supports administratifs comme les acteurs principaux impliqués avec le système d'ordonnancement. De façon semblable, Wortman et al (1996) ont fait ressortir les interactions entre différents planificateurs ainsi que Stoop et Wiers (1996) qui ont identifié les relations entre les intervenants du plancher de la production et les planificateurs.

Au cours des dernières années, quelques chercheurs se sont penchés sur l'aspect des sciences humaines inhérentes à l'ordonnancement et son processus dont Van Wezel et al (2006) qui créent un cadre d'analyse expliquant comment l'ordonnancement, les caractéristiques de production, et les éléments organisationnels agissent ensemble pour générer le goulot flexible de la planification. Ils montrent, à travers leurs analyses, que la pratique de la planification dépasse les approches de planification, les systèmes ERP et APS afin de pouvoir résoudre les problèmes typiques de l'industrie. Zoryk-Schalla et al (2004) examine le processus de planification et mentionne la difficulté de capturer l'ensemble de la prémisses hiérarchique dans un système APS.

Malgré tout, il n'existe pas à ce jour de modèle unique qui permet de caractériser un processus d'ordonnancement et éventuellement, d'en établir les coûts de façon cohérente. La littérature portant directement sur les coûts liés aux systèmes d'ordonnancement nous paraît d'ailleurs inexistante.

C'est dans cette optique que nous cherchons ici à mieux cerner les différents éléments qui affectent la qualité d'un processus d'ordonnancement en entreprise. Avant

d'exposer les éléments de notre analyse, nous présentons en premier lieu de notre méthodologie de recherche dans la prochaine section.

A.3. MÉTHODOLOGIE

Compte tenu du caractère pratique et exploratoire de cette recherche, nous avons développé une méthode d'observation de processus réels d'ordonnancement de la production. Cette méthode comporte 5 grandes étapes :

- 1) Choix des entreprises à observer ;
- 2) Construction d'une grille d'observation concernant la production, les ressources, le processus d'ordonnancement lui-même, les acteurs et les coûts liés à l'ordonnancement ;
- 3) Définition du protocole d'entrevue et d'observation ;
- 4) Conduite des entrevues et des observations ;
- 5) Analyse des résultats.

Un projet de recherche effectuée dans le cadre d'un partenariat entre l'École Polytechnique de Montréal et un éditeur principal du marché des logiciels d'ordonnancement nous a permis de conduire ce projet d'observation et de visites en entreprise. Cinq entreprises de la région de Montréal et ses environs ont été visitées et vingt-cinq acteurs de l'ordonnancement ont été interviewés. Les entreprises ont été sélectionnées sur la base de critères de choix tel que les différents types de production (industrie en flux continu et en lots), différents types d'organisation (ligne d'assemblage, atelier multi gamme), différents secteurs industriels (pharmaceutique, alimentaire, automobile, militaire et aérospatiale) et différents type d'activités (production et maintenance). Le choix final des entreprises a cependant été arbitraire et basé sur les relations privilégiées du responsable de groupe.

A.3.1 QUESTIONNAIRE ET ENTREVUES

Une étude bibliographique et une analyse des logiciels d'ordonnancement ont permis d'élaborer un questionnaire global. Pour des raisons de confidentialité nous ne l'incluons pas avec cet article.

Les questions touchant la production permettaient de connaître la taille de l'entreprise, la nature de la production, le nombre de produits, la nature de la demande, les informations de temps de cycle, le nombre d'ordres de productions ouvert moyens, le nombre d'ordres moyens complétés par jour, les durées moyennes des opérations complétées, le nombre moyen de matériaux ou pièces par produit et le pourcentage moyen de rejet.

Au niveau des ressources, les questions couvraient notamment le nombre et type de machines, le nombre d'opérateurs, les corps de métiers, les quarts de travail et le nombre de centre de travail.

Finalement, les questions touchant le processus de planification ont permis de déterminer les acteurs et d'effectuer une cartographie complète des processus d'ordonnancement et de ré-ordonnancement en utilisant la méthode EPC (*Event Process Chain*).

Plutôt que d'utiliser une méthode de questionnaires, nous avons utilisé des interviews orientés. La diversité des situations et des répondants aurait rendu impossible la simple distribution d'un questionnaire. En effet, les entreprises variaient en termes de taille, de complexité, de processus, de produits et de leur approche de planification et d'ordonnancement. Aussi, comme l'ordonnancement en entreprise implique diverses tâches cognitives et divers rôles sociaux, une première rencontre avec un responsable de la logistique ou de la production, selon les cas, a été effectuée dans le but d'identifier les données de base et les acteurs susceptibles de mieux répondre à l'ensemble des questions. Chaque entrevue a requis une heure en moyenne par employé rencontré. Une

fois l'information colligée et organisée, une deuxième réunion et des observations de terrain étaient tenues afin d'apporter des précisions et de combler tout manque d'informations. Les entrevues et observations ont été conduites de mai 2007 à août 2007 par quatre chercheurs et trois professeurs chercheurs.

A.3.2 ÉLÉMENTS D'ANALYSE

En plus de chercher à mieux définir le processus d'ordonnancement en entreprise, cette recherche vise aussi à établir les relations existant entre la qualité du processus d'ordonnancement et les caractéristiques de l'organisation responsable de cette fonction. Pour ce faire, nous avons retenus trois dimensions d'analyse, soient :

- les caractéristiques du système de production et de son environnement ;
- l'organisation du travail ; et
- les processus et systèmes mis en place.

Comme le démontre la figure A.1, ce cadre d'analyse suppose que les caractéristiques de production et les décisions prises par les entreprises en termes d'organisation du travail et de mise en place de processus et de systèmes d'information influent directement sur la qualité du résultat final d'ordonnancement.



Figure A.1. - Cadre d'analyse

Dans un premier temps, il fut nécessaire de prendre en compte le contexte et le niveau de difficulté de chaque entreprise. Pour chaque entreprise, les éléments suivants ont été évalués:

- volume de production ;
- variété des produits ;
- nombre de contraintes ;
- variabilité des opérations ;
- variabilité des besoins en matériels ;
- variabilité de la demande

Deuxièmement, l'analyse qualitative des organisations fut réalisée à partir des critères suivants :

- précision des responsabilités ;
- imputabilité des planificateurs ;
- nombre de planificateurs ;
- niveau de formation ;
- niveau de scolarité à l'embauche ;
- progression et cheminement de carrière.

Finalement, nous avons cherché à évaluer et comparer les processus et les systèmes d'information utilisés pour mener à bien la fonction d'ordonnancement. Les éléments d'analyse suivants ont donc été retenus :

- processus d'établissement des dates de début et de fin des ordres ;
- processus de suivi ;
- processus de correction ;
- système de planification ;
- système d'ordonnancement ;
- intégration des processus.

A.4. CONDUITE DES OBSERVATIONS

La structure des environnements de travail observés varie en termes de fonctionnement. L'activité d'ordonnancement a été investiguée en l'évaluant dans son environnement normal, soit un environnement manufacturier complexe et dynamique. Tel qu'illustré dans le tableau A.1, deux cas utilisent une approche à flux continu (*flow shop*), deux autres entreprises utilisent une approche multi-gamme (*job shop*) et une fonctionne en mode mixe. Chaque entreprise est brièvement décrite ci-après.

Tableau A.1. - Entreprise et type d'environnement

Entreprise	Secteur	Type d'environnement
A	Défense	Atelier multi-gamme
B	Pharmaceutique	Mixe (flux continu et multi-gamme)
C	Aérospatial	Atelier multi-gamme
D	Alimentaire	Atelier à flux continu
E	Transport	Atelier à flux continu

A.4.1 ENTREPRISE A

L'entreprise A est spécialisée dans le secteur de la défense. Elle offre des services de réparation et de remise en état de véhicules de combat et de systèmes de transport. Opérant dans un mode discret, les processus sont hautement variables et un total de 25 858 produits différents y est reporté. On y trouve une usine de remise à neuf et un atelier d'usinage comptant un total de 419 employés.

Dans l'entreprise A, un seul planificateur est appuyé par un groupe de 8 techniciens pour permettre le résultat de l'ordonnancement. Les logiciels utilisés sont SAP (R/3 et BW) et MS Excel.

A.4.2 ENTREPRISE B

L'entreprise B se spécialise dans les produits pharmaceutiques, biotechnologiques et de soins de santé pour les humains et les animaux. Sa structure en micro-usines permet la production en petits lots de produits spécialisés. On y trouve des micro-usines en mode discret et en mode continu ainsi que des laboratoires d'intrants et d'extrants nécessaires à la production de 478 produits distincts.

L'entreprise B compte 21 planificateurs. Un total de plus de 1300 employés y travaille. Les logiciels utilisés sont JD Edwards (JDE), Taylor Scheduling System (TESS), Brio et MS Excel.

A.4.3 ENTREPRISE C

L'entreprise C se spécialise dans les produits et services pour l'industrie de l'aérospatiale comme fournisseur d'équipements de simulation de vols. L'entreprise opère en processus discrets et a peu de produits. Toutefois, plus de 12 000 pièces sont requises par produit final.

L'entreprise C emploie près de 200 employés dont 4 planificateurs. Les logiciels utilisés sont Solomon, PS8, MS Project, Job Boss et MS Excel.

A.4.4 ENTREPRISE D

L'entreprise D agit dans le secteur alimentaire et produit des biscuits, céréales, barres tendres, pretzels et craquelins. La production de 600 produits différents est effectuée principalement en mode continu.

L'entreprise D a choisi d'utiliser SAP, un système ERP général, et d'y ajouter un module d'ordonnancement développé par des programmeurs maison. L'entreprise emploie près de 500 employés. De plus, c'est un vice-président qui y a la responsabilité de l'ordonnancement. Il gère une équipe de 5 planificateurs.

A.4.5 ENTREPRISE E

L'entreprise E œuvre dans le milieu des transports en offrant des services de conception, de fabrication et de support à ces clients. L'entreprise opère en mode discret et fabrique plus de 8 000 produits.

Paradox 7 est le logiciel d'ordonnancement utilisé par l'entreprise. Plus de 1000 employés y travaillent dont 20 planificateurs.

A.5. ANALYSE DES RÉSULTATS

L'analyse des résultats est faite en quatre parties. Nous avons d'abord évalué différents éléments caractérisant la complexité de la production à la section A.5.1. La section A.5.2 propose une appréciation de certains facteurs organisationnels influençant le processus d'ordonnancement. La section A.5.3 présente par la suite des éléments propres aux processus et aux systèmes d'ordonnancement utilisés par les entreprises. Finalement, la section A.5.4 tente d'évaluer la qualité des processus d'ordonnancement observés.

A.5.1 ENVIRONNEMENT DE PRODUCTION

Dans un premier temps, les données décrivant les volumes de production, la variété des produits, le nombre de contraintes, la variabilité des opérations et la variabilité de la demande ont été recueillies. Une comparaison des caractéristiques propres à chaque

environnement de production est illustrée à la figure A.2. On y note d'ailleurs que l'entreprise A affiche le plus grand niveau de complexité.

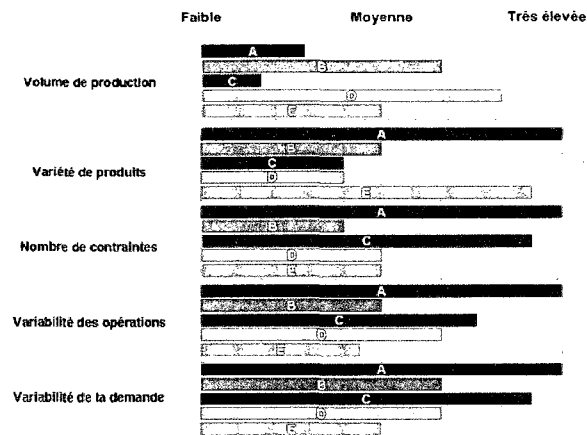


Figure A.2. - Analyse de la complexité des environnements de production

Ces données nous permettent de différencier les entreprises selon leur difficulté à produire un échéancier de production réalisable. En utilisant la classification de Wiers (1997b), il nous est possible de classer nos 5 entreprises en atelier lisse, social, de stress ou socio-technologique. Selon cette classification, l'abscisse représente l'incertitude liée à la complexité de la production et l'ordonnée relate l'habilité humaine usant de flexibilité pour récupérer de l'incertitude et des perturbations.

Ainsi comme le démontre la figure A.3, on remarque que les ateliers multi gammes représentent des environnements plus turbulents et plus difficiles à maîtriser. Nous notons que l'entreprise A œuvre dans l'environnement le plus complexe et l'entreprise B dans l'environnement le plus facile. En lien avec les capacités humaines, il est noté que l'entreprise A travaille dans un milieu où l'intervention des employés a un impact au mieux marginal sur la capacité de redresser une situation d'urgence.

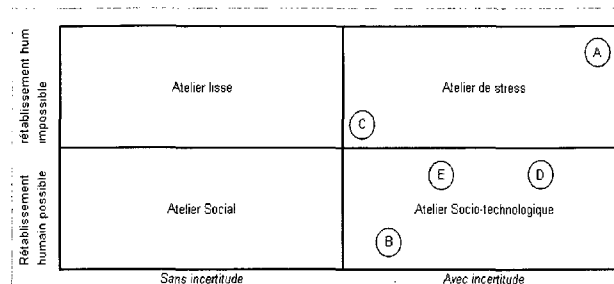


Figure A.3. - Typologie des unités de production

A.5.2 ÉLÉMENTS D'ORGANISATION

Nous avons aussi caractérisé les éléments organisationnels des entreprises visitées. La précision des responsabilités, le nombre de planificateurs, la formation interne, le niveau de scolarité à l'embauche et la progression et cheminement de carrière ont été questionnés et sont analysés à la figure A.4. Nous notons que l'entreprise B affiche la plus grande maturité organisationnelle et que l'entreprise A montre le plus faible niveau d'efficacité organisationnelle.

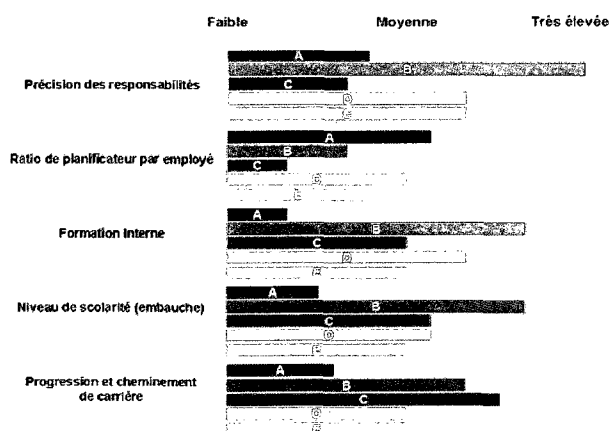


Figure A.4. - Analyse des éléments organisationnels

Chose surprenante, on note que le ratio de planificateur par employé se situe à près de 2% pour l'ensemble des entreprises. L'écart type est très faible sachant que les pourcentages varient entre 1.18% et 2.14%.

Nous notons aussi une grande variance dans le niveau de scolarité à l'embauche dans les entreprises visitées. L'éducation des planificateurs au Québec est intimement liée aux spécificités locales et l'expertise est caractérisée par la combinaison de trois éléments :

- Le niveau de formation académique ;
- Les certifications professionnelles ;
- Les années d'expériences sur le marché du travail.

Au Québec, la progression des études postsecondaires commencent par des études collégiales de 2 ans dites générales ou de 3 ans dites techniques. Par la suite, les étudiants poursuivent au premier cycle universitaire, soit le baccalauréat qui varie de 3 ans pour des études en administration ou 4 ans pour des études en ingénierie. Ensuite, vient la maîtrise qui permet d'accéder à un domaine de spécialisation et requiert environ 2 ans de développement.

Les formations académiques des planificateurs observées en entreprises étaient variées. Nous avons observés dans les entreprises de cette étude que des Diplômes d'Études Collégiales (DEC), Baccalauréats (BACC, niveau ingénieur ou administration de la gestion des opérations) ou Maîtrises (cours (M.ing.) ou recherche (M.Sc.A.)) sont généralement requis comme critère d'embauche des candidats de l'ordonnancement. Cependant, beaucoup d'employés sont formés à l'interne. D'autres suivent des formations reconnues et accréditées par le gouvernement.

La formation professionnelle des planificateurs au Canada est aussi sujette à de grandes variations car il n'y a aucun ordre professionnel qui règlemente cette profession. L'*Association for the Advancement of Cost Engineering* (AACE) propose une

certification *Planning and Scheduling Professionnal* (PSP). L'*American Production and Inventory Control Society* (APICS) propose aussi une certification *Certified in Production and Inventory Management* (CPIM) tandis que l'*Institute of Project Management* (PMI) propose une certification de *Project Management Professionnal* (PMP). Toutes ces certifications couvrent des éléments de connaissances propices aux planificateurs et sont habituellement valorisées par les entreprises rencontrées.

L'analyse des années d'expériences dans le marché du travail des acteurs de l'ordonnancement a aussi fait partie de l'analyse. Plusieurs profils ont été interviewés; certains étaient fraîchement sortis des bancs d'école alors que d'autre affichaient plus de 30 ans d'expériences. Nous avons d'ailleurs observé un nombre important d'acteurs dans la quarantaine qui cumulaient entre 10 et 15 ans d'expériences au sein de leur industrie. Les entreprises visitées jumelaient les équipes en fonction de leur expérience de façon à obtenir un bénéfice optimal tout en maximisant le développement des employés.

En somme, les employés montrent différents niveaux d'expérience et de formation.

A.5.3 PROCESSUS ET SYSTÈMES D'ORDONNANCEMENT

L'analyse des processus et des systèmes d'ordonnancement est représentée à la figure A.5. Le processus d'établissement des dates de début et de fin des ordres, le processus de suivi, le processus de correction, les systèmes d'ordonnancement et l'intégration des processus ont été analysés. Nous notons que l'entreprise B montre le plus grand déploiement de processus et systèmes tandis que l'entreprise A affiche peu de rigueur dans la mise en place des processus et des systèmes d'ordonnancement.

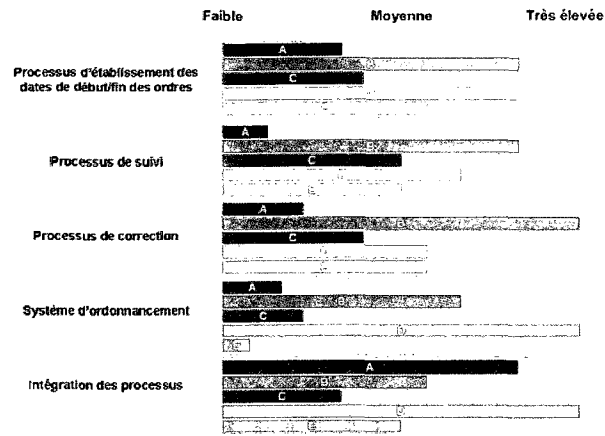


Figure A.5. - Analyse des processus et des systèmes

A.5.4 QUALITÉ D'ORDONNANCEMENT

Bien qu'il existe différentes façons d'évaluer la qualité du résultat de l'ordonnancement, nous avons ici cherché à la mesurer en fonction uniquement du respect des dates planifiées. La figure A.6 illustre la capacité de chacune des entreprises analysées à rencontrer ce critère.

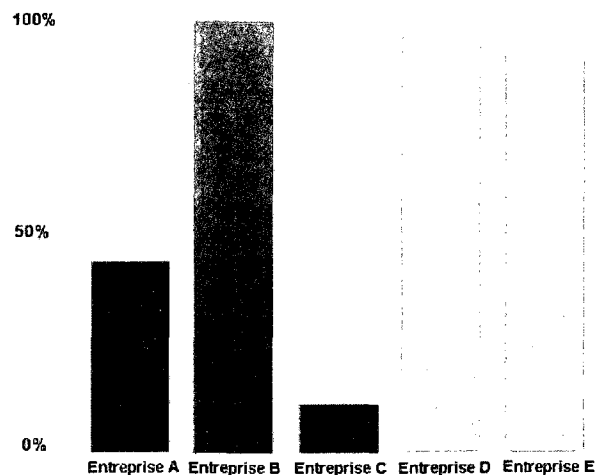


Figure A.6. - Taux de respect des dates planifiées

Le faible rendement de l'entreprise A s'explique en grande partie par le caractère hautement dynamique et aléatoire de son environnement. Avec un résultat similaire, l'entreprise C présente des résultats décevants et difficilement explicables sachant qu'elle opère dans un environnement de production plus stable. Les trois autres entreprises affichent un taux de respect des dates planifiés élevé. Comme prévu, les entreprises à flux continu semblent plus enclines à respecter les dates planifiées.

A.6. DISCUSSION

D'un point de vue logiciel, aucun système d'ordonnancement ne peut opérer efficacement sans boucle de rétroaction afin de permettre au planificateur de prendre des décisions rapides et en confiance. Il a été constaté que les planificateurs passent en moyenne 50% de leur temps à collecter de l'information et à générer différents plans de production. La coordination entre les différents services et la correction du plan initial occupent l'autre moitié de leur temps. Cette réalité fut observée dans tous les cas, peu importe la fréquence de l'évaluation des prévisions et des mises à jour de l'échéancier.

Ce constat nous amène à redéfinir le processus d'ordonnancement comme un ensemble d'activités intégrées qui comprend la collecte des données, la génération des échéanciers, la coordination et le suivi de la production (voir la figure A.7). Ainsi, une telle définition nous oblige à considérer d'autres acteurs dans le processus d'ordonnancement en entreprise que seul le planificateur. Les superviseurs ou contremaitres de production sont d'ailleurs des acteurs clés de l'ordonnancement en menant les activités de raffinement, de coordination et de correction des échéanciers de production. Dans tous les cas, nous avons noté que les superviseurs de production modifient l'échéancier initialement produit par le planificateur de façon à tenir compte de contraintes locales non prises en compte par le planificateur et les systèmes d'ordonnancement.

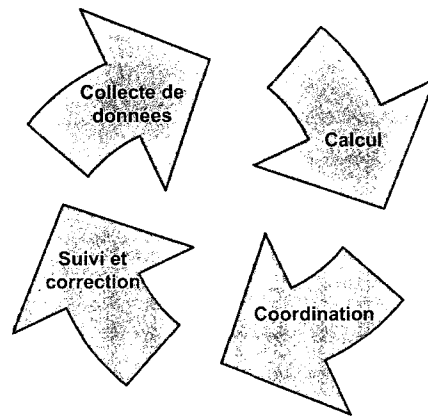


Figure A.7. - Processus itératif de l'ordonnancement

Au niveau des systèmes d'information, nous avons noté que certaines entreprises ont développé leurs propres instruments. D'autres ont préféré utiliser des applications commerciales. Les facteurs de choix incluent la qualité des solutions générées, la quantité d'options tant pour l'utilisation que dans la présentation des résultats. Aussi, il est intéressant de constater que chacune des entreprises recourt à l'utilisation de MS Excel à divers degrés d'intensité d'utilisation.

Nous avons constaté chez les entreprises A, B et D l'utilisation d'un double système d'ordonnancement à savoir qu'un premier était utilisé par les employés du plancher de la production et un deuxième par les employés de bureau et les gestionnaires. Ceci alimente l'idée fréquemment évoquée que les gestionnaires posent un regard sur des opérations en ayant une vision erronée de la situation réelle.

Les entreprises visitées montrent des variations significatives en quantités tant pour le nombre de planificateurs que pour les logiciels d'ordonnancement utilisés. Cependant, notons que les revenus annuels ainsi que le nombre d'employés totaux varient tout autant.

De façon individuelle, nous constatons que l'entreprise A fait face à une production complexe et montre une faiblesse tant du point de vue organisationnel que des systèmes pour répondre à cette dernière. À l'opposé, l'entreprise B possède un ordonnancement de très grande qualité mais affiche une structure imposante relativement à sa complexité de la production.

En termes de rendement, l'analyse des résultats montre que l'entreprise A, qui est classée dans un atelier de stress, montre un taux de respect des dates planifiées relativement faible. On peut en déduire une faible capacité de l'entreprise à répondre au changement de production. En comparaison, l'entreprise C, qui opère dans un atelier social, montre aussi un taux de livraison de qualité faible malgré le fait qu'elle soit dans un environnement de production plus facile à maîtriser. Cette faiblesse s'explique par des lacunes organisationnelles et par le manque de rigueur dans les processus. Les systèmes utilisés sont également faibles à plusieurs égards.

De façon plus globale, il est intéressant de comparer le taux de respect des dates planifiées et les différentes caractéristiques des entreprises. À cet égard, nous avons tenté de cumuler le niveau d'efficacité organisationnelle et d'efficacité des processus et systèmes au sein d'une seule mesure, dénoté comme l'efficacité globale de l'entreprise. Cette mesure fut simplement établie en calculant la moyenne de l'ensemble des critères mesurés aux figures A.4 et A.5. Ainsi, la figure suivante mets en relation le niveau d'efficacité globale de l'entreprise et sa complexité de production. Dans cette illustration, la taille de chaque point est directement proportionnelle au taux de respect des dates de livraison de l'entreprise. On note ainsi que la complexité de l'appareil de production semble être déterminant sur la qualité du résultat d'ordonnancement.

Le résultat de l'entreprise C semble toutefois incohérent avec ce dernier énoncé. Ce comportement nous a amené à revoir notre mesure de complexité. Suite à nos

observations, il semble que le volume de production n'ajoute pas de difficultés supplémentaires au planificateur dans son processeur d'ordonnancement.

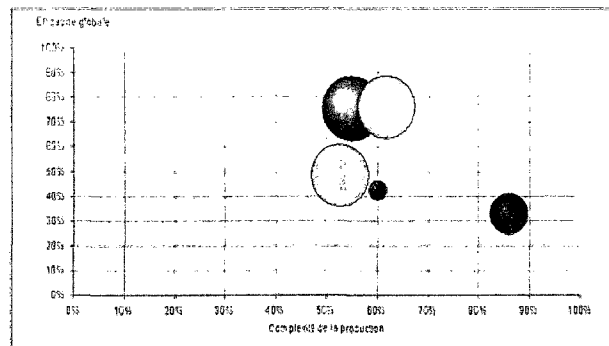


Figure A.8. - Taux de respect des dates planifiées en fonction de l'efficacité et de la complexité

En supprimant ce critère comme mesure de complexité, nous avons recalculé nos mesures de complexité des environnements de production et chercher à les mettre en relations avec le taux de respect des dates planifiées. La figure A.9 montre ainsi que la qualité de l'ordonnancement est directement affectée par la complexité de l'environnement de production.

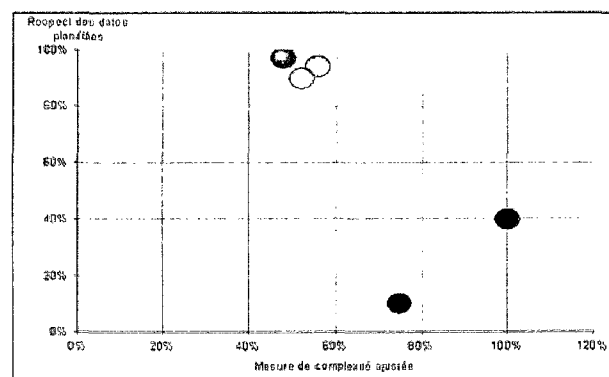


Figure A.9. - Taux de respect des dates planifiées en fonction de la mesure de complexité modifiée

Les progiciels d'ordonnancement sont souvent considérés comme essentiels à l'établissement d'échéanciers fiables. Dans le cas des entreprises recensées, nous avons été confrontés à des cas d'utilisation systématique de progiciels d'ordonnancement, à des cas d'utilisation partielle ou locale (i.e. certains centres de travail seulement) et à des entreprises où pratiquement aucun outil n'était mis à la disposition du planificateur. Ainsi donc, nous avons tenté d'isoler le niveau d'utilisation de ces progiciels et de le comparer au taux de respect des dates planifiées. Nos résultats, présentés à la figure A.10, semblent démontrer que la qualité du processus d'ordonnancement n'est pas reliée directement au niveau d'utilisation de progiciels modernes d'ordonnancement.

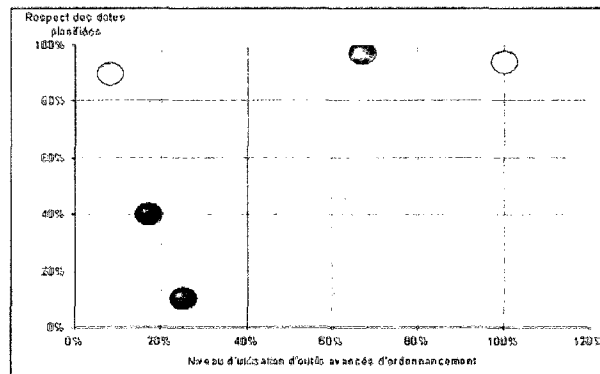


Figure A.10. - Taux de respect des dates planifiées en fonction du niveau d'utilisation d'outils avancés d'ordonnancement

Il est également pertinent de chercher à mesurer l'effet des décisions prises en termes d'organisation et en termes de systèmes et processus sur le taux de respect des dates planifiées. Ici aussi, la moyenne des critères pour chacune des facettes analysées permet d'établir une mesure d'efficacité moyenne. Comme en témoigne la figure A.11, il semble que les décisions organisationnelles et le choix des systèmes et des processus influencent directement la qualité de l'ordonnancement.

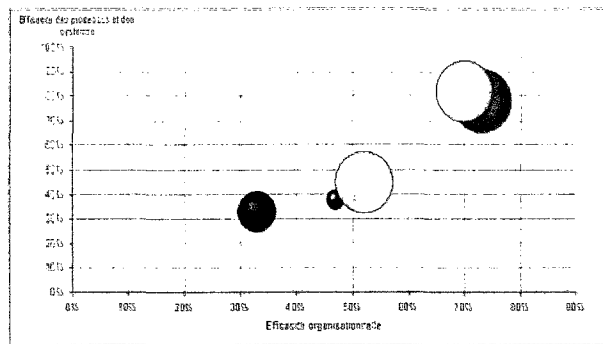


Figure A.11. - Taux de respect des dates planifiées en fonction de l'efficacité organisationnelle et de l'efficacité des processus et des systèmes.

A.7. CONCLUSION

Cette recherche a d'abord permis d'identifier les activités et les joueurs impliqués dans un processus d'ordonnancement de la production. Comme mentionné précédemment, nos observations démontrent clairement que le processus d'ordonnancement est bien plus qu'une activité de calcul et que les superviseurs de production y jouent aussi un rôle clé.

À la lumière des mesures présentées dans cet article, il semble aussi que l'utilisation des progiciels modernes d'ordonnancement ne peut garantir à elle seule une grande qualité d'ordonnancement. Malgré le faible nombre d'entreprises recensées, on peut conclure que la complexité de l'environnement de production et les décisions prises touchant l'organisation du travail et la rigueur des processus sont des facteurs plus déterminants.

Du point de vue de la recherche, une évaluation plus exhaustive d'entreprises permettrait certainement de raffiner notre analyse. La comparaison de divers facteurs en fonction des types d'opération et des secteurs industriels semble également une avenue de recherche prometteuse.

REFERENCES

- Baker, K.R., 1974. *Introduction to scheduling and sequencing*, New-York, John Wiley & Sons.
- Bauer, A., R. Rowden, J. Browne, J. Duggan and G. Lyons, 1991. *Shop floor control systems: From design to implementation*, London, Chapman & Hall.
- Conway, R.N., W.L. Maxwell and L.W. Miller, 1967. *Theory of scheduling*, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- Crawford, S. and V.C.S. Wiers, 2001. *From anecdotes to theory: a review of existing knowledge on human factors of planning and scheduling*, in: MacCarthy, B.L. and J.R. Wilson (Eds), *Human performance in planning and scheduling*, London: Taylor and Francis, p.15-43.
- Dessouky, M.I., N. Moray and B. Kijowski, 1995. Strategic behavior and scheduling theory. *Human Factors*, 7(3), p.443-472.
- Herrmann, J.W., 2006. *Handbook of production scheduling*, Springer.
- Kempf, K.G., 1994. Scheduling semiconductor wafer production, in: Zweben, M. and M.S. Fox (Eds.). *Intelligent Scheduling*, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, p.517-544.
- Kempf, K.G., B. Russell, S. Sidhu and S. Barrett, 1991. AI-based schedulers in manufacturing practice: Report of a panel discussion. *AI Magazine*, 5, p.46-55.
- MacCarthy, B.L. and J.R. Wilson, 2001. *Human performance in planning and scheduling*, Taylor and Francis.
- Pinedo, M., 1992. Scheduling, in: Salvendy, G. (Ed.). *Handbook of Industrial Engineering*, 2nd ed., Chichester, West Sussex, UK: Wiley-Interscience, p.2131-2153.
- Rigby, B., L.S. Lasdon and A.D. Waren, 1995. The evolution of Texaco's blending systems: From OMEGA to StarBlend. *Interfaces*, 25(5), p. 64-83.
- Stoop P.M.P. and V.C.S. Wiers, 1996. The complexity of scheduling in practice. *International journal of operations and production management*, 16(10), p. 37-53.

- Van Wezel, W., D.P. Van Donk and G. Gaalman, 2006. The planning flexibility bottleneck in food processing industries. *Journal of operations management*, 24, p. 287-300.
- Vollmann, T.E., W.L. Berry and D.C. Whybark, 1988. *Manufacturing planning and control systems*, Homewood, IL: Irwin.
- Wiers, V.C.S., 1997a. A review of the applicability of OR and AI scheduling techniques in practice. *OMEGA – International Journal of Management Science*, 25(2), p. 145-153.
- Wiers, V.C.S., 1997b. *Human-computer interaction in production scheduling: Analysis and design of decision support systems for production scheduling tasks*. Thèse de Doctorat, Université des technologies d'Eindhoven, Pays-Bas.
- Wortman, J.C., M.J. Euwe, M. Taal and V.C.S. Wiers, 1996. A review of capacity planning techniques within standard software packages. *Production Planning and Control*, 7(2), p. 117-128.
- Zoryk-Schalla, A., J.C. Fransoo and T.G. de Kok, 2004. Modeling the planning process in advanced planning systems. *Information & management*, 42, p. 75-87

ANNEXE B – THE ART OF SCHEDULING: A CROSS-CASE ANALYSIS

Article soumis le 15 décembre 2007; Accepté avec corrections le 19 mars 2008;
Soumis en version finale le 8 avril 2008 ; Accepté en version finale le 9 avril 2008;
Présenté à Madison le 27 mai 2008.

Michel Guévremont, Pierre Baptiste, Robert Pellerin

École Polytechnique de Montréal, 2500 chemin de Polytechnique,
Montreal, Quebec, Canada, H3T1J4 E-mail:
michel.guevremont@polymtl.ca, pbaptiste@polymtl.ca,
robert.pellerin@polymtl.ca Postal adress: C.P. 6079 succ. Centre-Ville,
Montreal, Quebec, Canada, H3C3A7.

Abstract: This paper establishes the essential relation between quality of scheduling and consideration of efficacy and efficiency. The scheduling process and results was observed in multiple interviews and observations that have been made in five manufacturing companies. Result analysis demonstrated how the scheduling is considering both efficacy and efficiency at the same time. It was found that an interesting number of systemic and organizational characteristics are driving the scheduling results quality.

Keywords: Scheduling, efficacy, efficiency.

B.1. INTRODUCTION

Most manufacturing companies are using some form of computer software, varying from spreadsheets to specialized software's, to support their production scheduling processes. The vast majority of choices in scheduling specialized software available on

the market can be confusing for an incipient user. A web site analysis on American Production Inventory and Control Society (APICS), Institute of Industrial Engineers (IIE), CXP international and productionscheduling.com can turn more than 500 scheduling software products in a heartbeat. Further, costs associated with buying, implementation and maintenance of the system are sometimes hard to estimate at first and can turn astronomical. This paper provides a practical framework for analysis considering efficacy and efficiency while developing the scheduling process and results in companies. To do so, a deepening comparison basis of scheduling processes founded on data collected in five Canadian manufacturing companies is presented. Note that the presented data are estimates and are confidential. However, the stated model enables company's comprehension improvement of the inputs of the scheduling process, the process itself and associated emerging results. To demonstrate our findings, the second section of this article illustrates the framework and literature review. Section B.3 proposes our research methodology. This section includes a description of the questionnaire, interviews and elements of analysis that we received from companies. Section B.4 reports collected data and results. They are then analyzed and discussed in section B.5. At last, a brief conclusion highlights potential research avenues.

B.2. FRAMEWORK PRESENTATION

The process of scheduling entails the production function of a company to ultimately be more effective. This is defined as the efficacy or the robustness of the process. Enterprises control the efforts amount of time and money dedicated to planning and scheduling related to the achievement of specific production goal in order to remain competitive. This is defined as the efficacy of the process. The scheduling computation of a plan involves complex rules and constraints and intrusive calculations. This is largely discussed in the literature and described as the robustness or efficacy of the computation. At the same time, clients and internal company managers look at additional power required to provide higher or more optimal results. This evaluation is defined as the efficiency of the scheduling plan. Since efficacy doesn't have any real

meaning without efficiency considerations, we propose the following model, illustrated in figure B.1, where the quality of scheduling is expressed as a function of both efficacy and efficiency of the process and the computation. This model has been inspired by the SCOR model and evaluated through visits in five manufacturing companies.

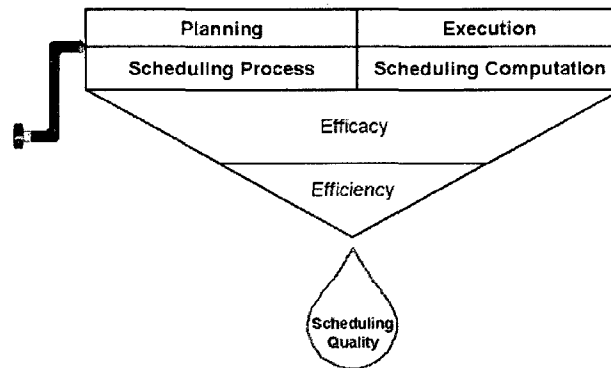


Figure B.1. – Scheduling model

From the creation of a new supplier's production order to the delivery of a customer's finished product, the scheduling process involves a holonic system. However, for the outcome to be considered of quality, we propose that the process has to be completed with efficacy and efficiency.

B.2.1. *Efficacy*

For the last three decades, scheduling has been researched from a mathematical point of view, embodied by the operational research, operations management, and artificial intelligence communities. Since the first books on scheduling appeared (Conway *et al.*, 1967; Baker, 1974), more than 20,000 articles about the scheduling problem have been published (Dessouky *et al.*, 1995). In these communities, scheduling is usually defined as "allocating a set of resources to perform a set of tasks". In production systems, this translates to allocating a set of machines to perform a set of work orders within a certain time period. The result of scheduling is a schedule, which has been defined as: "a plan with reference to the sequence of and time allocated for each item or operation necessary

to complete the item'' (Vollmann *et al.*, 1988). There has been substantial research into the design issues of production systems that take the allocation problem and turn it into a system for real situations (Bauer *et al.*; Kempf *et al.*, 1991; Kempf, 1994; Pinedo, 1992). As a result of the various efforts at building production systems, there has been successful use of research results in process industries (Rigby *et al.*, 1995). However, there have been few, if any, applications of research results to the general job shop situation (Wiers, 1997a). The scheduling process and computation has to be completed with efficacy. Holonic systems involve numerous dynamic components that are factors contributing to the realization of the scheduled production. Kariuki and Efsathiou (2002) introduce a measure of schedule adherence as an indicator of the schedule quality and as a performance measure in a manufacturing environment. They describe a good schedule as one that is feasible, such that the shop floor is capable of adhering to it and production control personnel can cope with it. They consider the measurement of schedule adherence as a way to assess the performance of a factory. However, as mentioned by McCarthy and Wilson (2001), this measure on its own is not an adequate performance measure as it can be achieved in a facility that is under-utilized with few resource conflicts. The scheduling computation is complex and can take precious time with already scarce resources. Interestingly, Cirne *et al.* (2007) have established efficacy as the performance delivered to the application and efficiency as the amount of resources wasted. Lucertini *et al.* (1998) shows that a control system requires assigning a set of operations to a set of machines, such that a number of constraints is satisfied and some efficiency index is optimized. However, they mention that usual efficiency indicators (throughput, completion time, part transfers, workload balance, etc.) become difficult to evaluate and even to be formulated in logical terms or as the optimal solution of a decision problem expressed in analytical form even with relatively simple structure. Johnson *et al.* (1990) and Hindi and Belarbi (1992) both describe through case studies a scheduling solution with efficacy when its procedure has been mathematically proven to provide a satisfactory and often optimal solution. White (1996) has summarized formalism from diverse literature regarding manufacturing performance measurement

and developed a taxonomy for categorizing performance measures. This taxonomy can be used by companies or by researchers to gauge manufacturing performance relative to competitive strategy. 125 Performance measures are classified about competitive capability (cost, quality, flexibility, delivery reliability and speed), data source (internal or external), data type (subjective or objective), reference (benchmark or self-referenced) and orientation (process input or process outcome).

B.2.2. Efficiency

Recently, some researchers have concentrated on tasks made by scheduling actors and the scheduling process development in companies (Crawford and Wiers, 2001). Modeling of the scheduling process is however difficult as processes are unique for each companies. For example, MacCarthy and Wilson (2001) and Hermann (2006) expose the scheduling typical process in various companies such has a tools manufacturing plant an engineering firm, a clothes plant, a metal sheet plant and a pharmaceutical company. These authors elaborate on functions related to scheduling main operators and actors. Hence, they consider directors, managers, planners, schedulers and their administrative support for main actors related to scheduling systems. In a similar fashion, Wortman *et al.* (1996) expanded on interactions between schedulers and Stoop and Wiers (1996) identified relations between shop floor personnel and schedulers. Above all, to this date, there are no unique models to characterize a scheduling process and to eventually establish its costs in a coherent manner. Further, literature directly supporting cost related to scheduling systems is appearing to be inexistent. The scheduling process has to be completed at a reasonable cost. Kim *et al.* (1997) qualified manufacturing systems by proposing a new performance measurement system under activity-based cost environment. The critical performance measures of an activity are based on efficiency, completion time, setup time and quality. Quality is defined as fitness for use. They mention that in these days, companies try to improve their activity performance by launching many programs such as installing newly advanced manufacturing systems and implementing a quality circle. Efficiency of an activity is

described as a ratio of output to input. They mention that to compute the efficiency of an activity, managers need to determine the activity's output volume. The efficiency of the activity is then calculated by dividing the output by the input (resource) to sustain the activity. The result is an activity cost per product. Ahmad and Dhafr (2002) discuss key performance indicators (KPI's) on the basis of a manufacturing experience which can be compared against an internal target, or an external target 'benchmarking' to give an indication of performance. They mention metrics to improve manufacturing performance based on financial performance, technical performance and efficiency. They mention efficiency, quality and technical competence as the top three performance areas. However, they state that many organizations use efficiency metrics that only measure a portion of the true productivity. Incomplete metrics lead to inappropriate action. Emerson (1913) wrote on the principles of efficiency. His description may here still be appropriate for the scheduling process:

“... but most of the industrial plants of the world are still in the stage of civilization of which as to transportation the old freight wagons and prairie schooners across the plains were types. They started when they got ready, they arrived some time, and nobody knew where they were nor what route they were taking in between.”

The scheduling computation has to be completed with the satisfaction of the client and internal management. Cavalieri *et al.* (2007) details the PMS-ESS conceptual framework developed for assessing the level of quality of a scheduling solution in terms of efficiency, robustness and flexibility. They provide a comprehensive view of the rationale, the conceptual model, the development effort and first applicative experiences of the benchmarking service. With their three-layered framework, they measure the effectiveness, the robustness and the flexibility. They measure efficiency of a production system through industrial practitioners relevant measure for scheduling and operational measures gathered from the shop floor. Thus, they include performance

measures relevant for the knowledge of plant managers. Mahmoud and Von Gaza (1990) established a mechanism to measure performance of a transit system. They established efficiency indicators based on production, schedule and operations design and operators' productivity reflecting revenue hours produced. They are designed to be a powerful management tool for both senior management and the staff at the working level by assessing the impact of service changes on system efficiencies. Efficiency of the process and computation is achieved through competent scheduling personnel. In the project management scheduling sector, the following observations have been made. We consider that they apply as well in the production scheduling of the manufacturing sector. Hence, a parallel is made to manufacturing and industrial engineering as the following scheduling course topics often covers both products and services in both production and projects industries. Galloway, 2006a has examined how CPM scheduling has been taught in 211 universities of 17 countries around the world by comparing course syllabus', software and textbooks used. She mentions from her experience over the past 20 years has demonstrated that a well developed, updated, and consistently used CPM schedule during a project can increase the probability of a project finishing on time and/or assisting in party-agreed extensions of time. She concludes that the lack of uniformity in the instruction of those graduating is the root cause for misunderstandings among the parties relative to what is required by the contract. She mentions the need for certification of individuals that would ensure a baseline of competency and uniformity across professionals and consequently the new generation of schedulers will have the competence to provide quality schedules. Galloway (2006b) conducted a survey relative to the use of scheduling and its benefits, its applicability and its acceptance in the execution of today's projects. She obtained stakeholders' views on the necessary qualifications of scheduling personnel and elaborated on schedulers preferred credentials. Credentials include on-job training, undergraduate engineering degree, scheduling training/coursework, graduate degrees, professional licenses, work experience and field experience. Boucher *et al.* (2007) reintroduced the human workforce as the main source of industrial performance.

Through a survey, they studied the formalization of the link between human resource and industrial performance, through concepts like skills, competencies or know-how. They focused at the concept of competence within information systems, as a basis for performance analysis and for the development of decision support systems. Kempf *et al.* (2000) describes a number of different considerations that must be taken into account when assessing the quality of a schedule, and discuss their implications for the design and implementation of scheduling systems. They provide a definition of a schedule and discuss potential uses for a schedule within the organization. It is with this point of view that we here try to better define elements that have an impact on the scheduling process quality in companies.

B.3. RESEARCH METHODOLOGY

Knowing this research's practical and exploratory nature, we have developed a real production scheduling process observation method. This method includes five major steps:

- Choice of companies to observe;
- Observation grid construction related to production, resources, scheduling process, actors and schedule related costs;
- Interviews and observations protocol definition;
- Interviews and observations steering;
- Result analysis.

A research project completed in partnership between École Polytechnique de Montreal and a main scheduling software editor enabled us to conduct this observation and visits project with companies. Five companies in the Montreal area and its surroundings have been visited and twenty-five scheduling actors have been interviewed. Enterprises were selected based on choice criteria such as different production types (industries in batch or continuous flow), different organization type

(assembly lines, job shops), different application sectors (pharmaceutical, food, automobile, military and aerospace) and different activity types (production and maintenance). However, the final choice of companies was arbitrary and based on the project leader's privileged relations.

B.3.1. Questionnaires and interviews

A bibliographic study and a scheduling software analysis enabled us to create a global questionnaire. For confidentiality reasons, we are not including it with this article. Questions related to production enabled us to confirm the company size, production nature, number of products, nature of demand, cycle time information's, average number of opened production work orders, average number of daily completed work orders, average operation duration at completion, average number of pieces or materials by product and average reject percentage. At the resource level, questions covering number of machines and machine types, number of operators, trades represented, work shifts and number of work centers. Ultimately, questions related to the scheduling process enabled us to determine actors and to map a complete cartography of the scheduling and re-scheduling process using the EPC method (Event Process Chain). Instead of using a questionnaire method, we chose to use oriented interviews. The situations and respondents diversity would have made impossible using a simple questionnaire distribution. Actually, companies varied in terms of size, complexity, processes, products and planning and scheduling approaches. Further, knowing that scheduling in companies is implying diverse cognitive tasks and social roles, a first meeting with a production or logistics manager, depending on the company, was held with the intent of identifying basic information and actors subject to give the better answer to all required questions. Each interview took an average of an hour per employee. Once the information was colligated and organized, a second meeting with field observations was held to procure precisions and palliate to any missing information. Interviews and observations were conducted between May 2007 and August 2007 by four researchers and three professors-researchers.

B.3.2. Observation steering

Observed work environment structure vary in terms of operations. The scheduling activity has been investigated in its normal environment, i.e. a complex and dynamic manufacturing environment. As illustrated in Table B.1, two instances used a flow shop approach, two others companies use a job shop approach and one had a mixed approach. Each company is briefly described here after.

Table B.1. – Company and environment type

Company	Sector	Environment type
A	Defense	Job Shop
B	Pharmaceutical	Mix (flow shop and job shop)
C	Aerospace	Job Shop
D	Food	Flow Shop
E	Transport	Flow Shop

Company A is specialized in the defense sector. It offers manufacturing, repair and overhaul services for combat vehicles and transport systems. Operating in a discrete mode, processes are highly variable and a total of 25 858 different products are reported. They use an overhaul plant and a machining shop totaling 419 employees. In company A, only one scheduler is helped by a group of eight technicians to enable the scheduling result. Software's used are SAP (R/3 and BW) and MS Excel. Company B is specialized in pharmaceutical, biotechnological and health care products for humans and animals. A micro-plants structure is used enabling specialized products small batch production. We can found micro-plants in discrete and in continuous modes and input and output laboratories necessary for the production of 478 distinct products. In company B, there are 21 schedulers and a total of more than 1300 employees. The software's used are JD Edwards (JDE), Taylor Scheduling System (TESS), Brio and MS Excel. Company C is specialized in products and services for the aerospace industry as equipment and flight simulator supplier. The company is operating in discrete mode and

has few products. However, more than 12 000 pieces are required for each final product. Company C has more than 200 employees including 4 schedulers. The software's used are Solomon, PS8, MS Project, Job Boss and MS Excel. Company D acts in the food sector and produces cookies, sugar wafers, snack bars, breakfast cereals, pretzels and crackers. Its production is generates 600 different products and is mainly operating in continuous mode. Company D chose to use SAP, a general ERP system, and added a scheduling module to it developed by in-house developers. It has more than 500 employees. Further, it is a vice-president that holds the scheduling responsibility. He manages a team of schedulers. Company E is active in the transportation sector offering services in design, manufacturing and customer support. The company develops in a discrete mode and manufactures more than 8000 products. Paradox 7 is the scheduling software used by the company. More than 1000 employees are on the payroll including 20 schedulers.

B.4. OBSERVATIONS

Result analysis is accomplished in two distinct parts. We have described the efficacy of the different production companies in section B.4.1. Then, section B.4.2 quotes an appreciation of efficiency factors influencing the scheduling processes and results.

B.4.1. Organization efficacy features

To begin, data describing constraints respect, solution robustness, effective decision tool, complexity avoidance and driven production units have been collected. These factors of efficacy are represented on figure B.2.

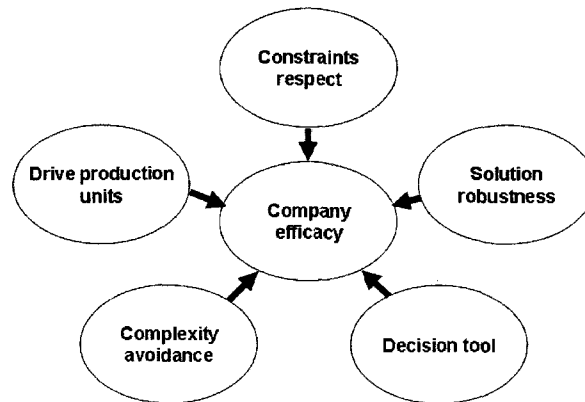


Figure B.2. – Efficacy factors

It was noted that company A resulted with an average value of efficacy as their scheduling process and results didn't drive the production units. Further, the way they used their scheduling software, reports and meetings had weak impact on business decisions. Moreover, proposed solutions were varying greatly. Last, they didn't respect their constraints. For company B, the efficacy measure was great and could be considered as best practice; their schedule drove production units and was insightful for quick in-situ or aggregated decisions even with frequent scenario changes. However, they had a heavy structure on reporting. At company C, the result is weak; solutions were constantly revised. Further, the scheduling tools used were hard pressed to provide any sound business decisions and modules were not communicating between themselves. Moreover, they didn't drive production units in any fashion nor did it respect constraints. In company D, the measure of efficacy was high as their scheduling drove production units and was a good decision tool providing stable solution that avoided complexity. Nevertheless, their robustness result was affected by time-limitation as they are scheduling food products. With company E, we found a similar result as solutions respected constraints, drove production units, avoided complexity and provided with insightful robust solutions.

B.4.2. Organization efficiency features

We characterized organizational features, systems and processes for the companies of this study. Internal management satisfaction, labor and equipment costs, responsibilities precisions, scheduler to employee ratios, internal training, level of education at hire, progression and career path development, process of establishing orders start and end dates, follow-up process, correction process, scheduling system and process integration as illustrated on figure B.3 where questioned and analyzed. In the end, efficiency is concerned with the required time and money spent to provide the result. In other words, we are questioning if the process and the calculations can be done quickly and at low cost.

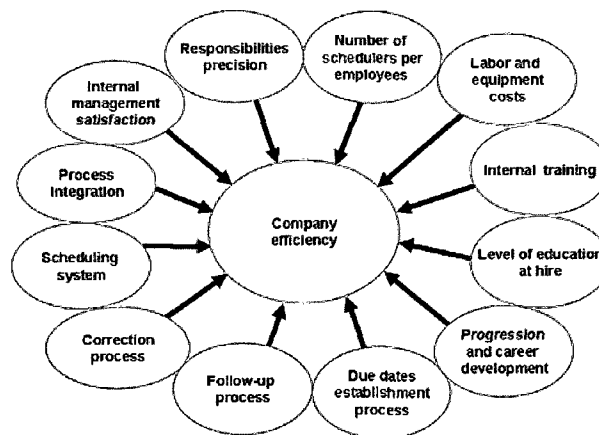


Figure B.3. – Efficiency factors

At company A, a good scheduling software is used but the scheduling process is poorly understood by schedulers. The process for establishing due dates was varying in time and they reflected poor follow-up and corrections procedures. Their schedulers were less educated, had no additional training and low career progress. Further, scheduling employees didn't understand the full breath of their duties. It was noted that company B shows the greatest organizational maturity and highest processes and systems deployment. However, labor and equipment costs required to produce scheduling in company B is making it the least efficient. At the other end, company D showed the best practice using a light scheduling workforce while producing great

scheduling outcomes that reflects the strongest results related to organizational efficiency. Their schedulers were hired with a good level of education, trained furthermore and the software in place used best-of-breed material. Company C provided their scheduling employees with good internal career progress and their scheduling staff were knowledgeable but their due date process was constantly revised and follow-up and correction processes have to be developed. Further, their scheduling system didn't correspond to their need. In company E, the scheduling responsibilities were well known to the staff as they had good correction and follow-up processes. Their schedulers were trained internally and the due dates establishment process was as strong as religion. However, their scheduling system was old and obsolete.

Surprisingly, we observed that the scheduler to employees' ratio is close to 2% for all companies. The standard deviation is low as percentages' vary from 1.18% to 2.14%. Further, we observed a strong variance in the level of education at hire in the visited enterprises. Québec's schedulers' education is tightly related to local specificities and expertise is characterized with the combination of the following three elements:

- academic level of education;
- professional certifications;
- years of experience on the market.

In Québec, the progression of postsecondary studies starts with a 2 years of general collegial studies or 3 years of technical collegial studies. After, students are invited to complete undergraduate studies in universities where they choose between a 3-years administration program or a 4-years engineering degree. Next, comes the master's degree which enables to access a specialization and requires about two years of development. The academic education of the schedulers observed in this study was quite varied. We observed in companies of this study that Collegial studies diplomas (DEC), bachelor (BACC in Engineering or in Operations Management) or master's degree (course (M.Ing.) or research (M.Sc.A)) were generally required as hiring

criteria's for scheduling candidates. However, many employees were trained internally in companies. Others followed training courses recognized and accredited by the government. The schedulers' professional training in Canada is subject to great differences since there are no orders to regulate this profession. The Association for the Advancement of Cost Engineering (AACE) proposes a certification as Planning and Scheduling Professional (PSP). The American Production and Inventory Control Society (APICS) also propose a certification as Certified in Production and Inventory Management (CPIM) while the Project Management Institute propose a certification as Project Management Professional (PMP). All these certifications cover knowledge elements propitious to schedulers and are generally valued by the companies interviewed. The analysis of scheduling actors' years of experience on the market has also been part of the analysis. Many profiles have been interviewed; some were straight out of school while others showed more than thirty years of experience. We observed a high number of actors in their forties cumulating between 10 and 15 years of experience in their industry. Visited companies tagged teams with consideration of their experience to gain optimal benefit while maximizing employees' development. In a nutshell, employees demonstrated many different levels of experience and education.

B.4.3. Quality of scheduling

Even though there are many different ways to evaluate the quality of scheduling results, we have tried to measure it as a function of efficacy and efficiency as shown on figure B.4. The capacity of each company is analyzed to fulfill this criterion. The yield of company A is explained in great part with the highly dynamic and random environment. With a similar result, company C illustrates lowest and deceiving results and hard to explain knowing that they operate in a stable environment. The three other companies showed a high rate for quality results. As foreseen, the companies in a flow shop environment were better predisposed to meet the criteria. Overall, company D gives the best results.

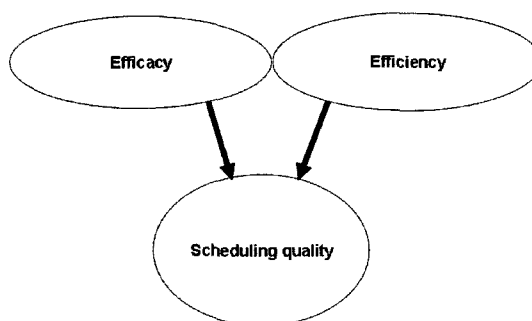


Figure B.4. – Scheduling quality factors

B.5. DISCUSSION

From a software standpoint, no scheduling system can operate effectively without a follow-up procedure enabling the scheduler to take decisions quickly and with confidence. It has been recognized that schedulers spend an average of 50% of their time to collect information and generate different production schedules. Coordination between the different services and correction of the initial plan stand for the other half of their time. This reality is observed in every case, regardless of the forecast evaluation frequency and schedule updates. This diagnostic brings us to redefine the scheduling process as an integrated group of activities which includes data collection, schedule generation, coordination and production follow up. Thus, such a definition binds us to consider other factors of the scheduling processes in the companies other than the scheduler itself. Production supervisors or foremen are other key actors in scheduling as they lead refinement, coordination and correction activities tied to production schedules. From an information systems standpoint, we detected that some companies develop their own instruments. Others preferred to use commercial applications. Choice factors include quality of generated solutions as much as quantity of usable and result presentation options. In addition, it is interesting to point that each company is using MS Excel at varying utilization intensity degree. Moreover, we note the use of a doubled scheduling system in companies A, B and D i.e. a first is used with shop floor employees and a second is used by office employees and managers. This feeds the frequently evoked idea that managers pose sight on operations while having an

erroneous vision of the real situation. The visited companies exhibit significant quantity variations for their number of schedulers and their scheduling software used. However, it was observed that annual revenues and number of employees fluctuate just as much. On an individual basis, we found that company A and B face demonstrates weaknesses from an efficiency standpoint. Company A has a complex production that could explain this result but company B is a simple flow shop. In terms of return of efficacy, company C shows the weakest results followed by company A, which is classified as a stress shop, illustrates a planned due date low respect rate. We can infer a company A's low capacity to adapt to production change. Moreover, in contrast, company C which performs in a social shop; reflect a low rate of quality shipments in spite of the fact that they operate in an easier environment that should be better mastered. This weakness is explained by the organizational gaps and the missing harshness in processes. Systems used are equally ineffective from many viewpoints. At the other end, company B possesses a great scheduling efficacy but shows a heavy structure in relation to its production complexity. In a global view, it is interesting to compare the efficacy and efficiency characteristics of different companies. This measurement is simply established by calculating the average of all criteria measured for the five companies in relation to efficacy and efficiency. Considering quality in relation to the companies' global efficacy, efficiency levels and their production complexity, we find highest quality results with company D and E. This is followed by company B that returns an average quality. Companies A and C have shown the lowest quality results. It is interesting to note that there doesn't seem to be a direct relation between efficacy and complexity nor efficiency and complexity. Further, we cannot observe a correlation between complexity and quality. However, the overall quality score is higher for flow shops.

B.6. CONCLUSION

This research first enabled us to identify activities and actors involved in the production scheduling process. As previously mentioned, our observations clearly

demonstrate that the scheduling process is far more than a simple calculation or the press of a button. In light of the measures presented in this article, it seems additionally that the efficacy and efficiency of scheduling cannot guarantee by itself a good scheduling quality result. In spite of the low number of cases companies, we can conclude that both variables looked together are driving factors and define the art of scheduling in a broader and more general context that ties the work organization with scheduling process and results. From a research viewpoint, a more exhaustive company evaluation would certainly enable the refinement of our analysis. The comparison of various factors in relation to the operation type and industrial sectors seems additional promising research avenues.

B.7. REFERENCES

- Ahmad, M.M. and N. Dhafr, 2002. Establishing and improving manufacturing performance measures. *Robotics and computer integrated manufacturing*, 18, p. 171-176.
- Baker, K.R., 1974. *Introduction to scheduling and sequencing*, New-York, John Wiley & Sons.
- Bauer, A., R. Rowden, J. Browne, J. Duggan and G. Lyons, 1991. *Shop floor control systems: From design to implementation*, London, Chapman & Hall.
- Boucher, X., E. Bonjour and B. Grabot, 2007. Formalisation and use of competencies for industrial performance optimization: a survey. *Computers in industry*, 58, p.98-117.
- Cavalieri, S., S. Terzi and M. Macchi, 2007. A benchmarking service for the evaluation and comparison of scheduling techniques. *Computers in industry*, 58, p.656-666.
- Cirne, W., F. Brasileiro, D. Paranhos, L.F.W. Goes and W. Voorsluys, 2007. On the efficacy, efficiency and emergent behavior of task replication in large distributed systems. *Parallel Computing*, 33, p.213-234.
- Conway, R.N., W.L. Maxwell and L.W. Miller, 1967. *Theory of scheduling*, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.

- Crawford, S. and V.C.S. Wiers, 2001. From anecdotes to theory: a review of existing knowledge on human factors of planning and scheduling, in: MacCarthy, B.L. and J.R. Wilson (Eds), Human performance in planning and scheduling, London: Taylor and Francis, p.15-43.
- Dessouky, M.I., N. Moray and B. Kijowski, 1995. Strategic behavior and scheduling theory. *Human Factors*, 7(3), p.443-472.
- Emerson , H., 1913. Twelve Principles of Efficiency. *The Engineering Magazine*, New York.
- Herrmann, J.W., 2006. Handbook of production scheduling, Springer.
- Hindi, K.S. and K. Belarbi, 1992. Detailed scheduling of a packing system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 7, p.218-224.
- Galloway, P.D., 2006a. Comparative study of university courses on critical-path method scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(7), p.712-722.
- Galloway, P.D., 2006b. Survey of the construction industry relative to the use of CPM scheduling for construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(7), p.697-711.
- Johnson, L.M.jr, Parthasarati, Dileepan and Tapansen, 1990. Knowledge based scheduling systems: a framework. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1, p.117-123.
- Kariuki, S. and J. Efstathiou, 2002. Schedule adherence as a performance measure. *Seventh International Conference on Manufacturing and Management. PCM'2002 Thailand*, p.228-233.
- Kempf, K., R. Uzsoy, S. Smith and K. Gary, 2000. Evaluation and comparison of production schedules. *Computers in Industry*, 42, p.203-220.
- Kempf, K.G., 1994. Scheduling semiconductor wafer production, in: Zweben, M. and M.S. Fox (Eds.). *Intelligent Scheduling*, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, p.517-544.

- Kempf, K.G., B. Russell, S. Sidhu and S. Barrett, 1991. AI-based schedulers in manufacturing practice: Report of a panel discussion. *AI Magazine*, 5, p.46-55.
- Kim, G., C.S. Park and K.P. Yoon, 1997. Identifying investment opportunities for advanced manufacturing systems with comparative-integrated performance measurement. *International journal of production economics*, 50, p.23-33.
- Lucertini, M., D. Pacciarelli and A. Pacifici, 1998. Modeling an assembly line for configuration and flow management. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 11(1-2), p.15-24.
- MacCarthy, B.L. and J.R. Wilson, 2001. Human performance in planning and scheduling, Taylor and Francis.
- Mahmoud, H. and H. Von Gaza, 1990. Development of performance indicators using vehicle and crew scheduling data bases. *Computer-aided transit scheduling: proceedings of the Fifth International Workshop on Computer-aided Scheduling of Public Transport*, Canada, p.85-95.
- Pinedo, M., 1992. Scheduling, in: Salvendy, G. (Ed.). *Handbook of Industrial Engineering*, 2nd ed., Chichester, West Sussex, UK: Wiley-Interscience, p.2131-2153.
- Rigby, B., L.S. Lasdon and A.D. Waren, 1995. The evolution of Texaco's blending systems: From OMEGA to StarBlend. *Interfaces*, 25(5), p. 64-83.
- Stoop P.M.P. and V.C.S. Wiers, 1996. The complexity of scheduling in practice. *International journal of operations and production management*, 16(10), p. 37-53.
- Vollmann, T.E., W.L. Berry and D.C. Whybark, 1988. *Manufacturing planning and control systems*, Homewood, IL: Irwin.
- White, G.P., 1996. A survey and taxonomy of strategy-related performance measures for manufacturing. *International journal of operations and production management*, 16(3), p. 42-61.
- Wiers, V.C.S., 1997a. A review of the applicability of OR and AI scheduling techniques in practice. *OMEGA – International Journal of Management Science*, 25(2), p. 145-153.

Wortman, J.C., M.J. Euwe, M. Taal and V.C.S. Wiers, 1996. A review of capacity planning techniques within standard software packages. *Production Planning and Control*, 7(2), p. 117-128.

***ANNEXE C – ASSESSING THE PERFORMANCE OF THE
SCHEDULING FUNCTION IN MANUFACTURING
ORGANIZATIONS: A CROSS-CASE ANALYSIS***

Article soumis à Computers in Industry le 18 mars 2009.

Michel Guévremont*, Robert Pellerin, Pierre Baptiste

Department of Mathematics and Industrial Engineering, Ecole
Polytechnique de Montreal, C.P. 6079 succ. Centre-Ville, Montreal,
Quebec, Canada, H3C3A7

ABSTRACT

This paper analyzes the performance of the scheduling function in manufacturing organizations, which is defined in terms of the quality of the production schedules and the scheduling process efficiency. A conceptual model based on the production system, organizational readiness and scheduling system characteristics is proposed to evaluate the performance of the scheduling function. Results were obtained from more than twenty-five interviews and numerous observations conducted in five Canadian production companies. Our results demonstrated that the scheduling process in companies goes beyond the calculation functions and schedule generation. It was found that the production system characteristics, the level of training, the level of formalism in the planning process, the choice of the scheduling system and its level of assimilation, and the level of integration between the scheduling and the enterprise system directly influence the performance of the scheduling function.

Keywords: Scheduling, scheduler, performance, software, cross case analysis.

*Corresponding author. Tel : 514-393-8000 x8251 Fax : 514-876-9273

E-mail address: michel.guevremont@polymtl.ca

C.1. INTRODUCTION

Most manufacturing companies are using some form of computer software, varying from spreadsheets to specialized software, to support their production scheduling processes. The vast choice of specialized scheduling software available on the market can be confusing for an incipient user. A web site analysis on American Production Inventory and Control Society (APICS), Institute of Industrial Engineers (IIE), CXP International and productionscheduling.com can quickly result in more than 500 scheduling software products, including solutions offered within ERP system. Despite the large number of scheduling systems offered in the market, there are still a high number of manufacturing organizations refusing to adopt such solutions. In fact, there is no empirical evidence showing of production performance differences between users and not-users of advanced scheduling solutions. This observation leads us to study other elements that may have an impact on the performance of scheduling processes in companies.

As such, this paper proposes to evaluate the impact of different production, processes and system characteristics on the performance of production schedule generated by manufacturing firms. A cross-case analysis involving five Canadian companies, which led to observations and interviews with 25 scheduling actors, was conducted to validate the model. Firms with different production types (industries in batch or continuous flow), different organizational types (assembly lines, job shops) and application sectors (pharmaceutical, food, automobile, military, and aerospace) were selected in order to cover a wide spectrum of manufacturing activities.

The remainder of the paper is organized as follow. First, the conceptual model and a literature review on previous scheduling researches are presented in the next section. Section C.3 then presents our research methodology. We then present the data collected

and results in section C.4 followed by a discussion of our main findings in section C.5. Finally, a brief conclusion highlights limitations to this study and potential research avenues.

C.2. THE CONCEPT OF SCHEDULING FUNCTION

As mentioned in MacCarthy and Wilson [1], the performance on production schedule is crucial for many manufacturing organizations to achieve their operational strategy and to remain competitive. Despite the research community has proposed a number of metrics for evaluating the quality of the schedule, such as schedule adherence, schedule stability and robustness, number or percentage of late jobs or excess inventories, they are often difficult to implement as mentioned by Neely [2]. In fact, few organizations measure the performance of their scheduling process. The unique nature of each firm production facilities would suggest that each organization must define scheduling performance metrics that are aligned with their own objectives and environment. In this paper, we propose to define the scheduling function performance as a combined measure of both efficiency and efficacy. We here define efficacy as the ability to produce or meet an expected objective where efficiency is simply defined as the ratio of results produced with resources consumed or output over input.

No prior empirical study has yet attempted to measure the influence of various characteristics on the scheduling function performance. Therefore, we have limited our study to a set of variables related to production system characteristics, organizational readiness, and the use of scheduling software which are described in the following subsections. The represented characteristics are either company specific descriptive and uncontrolled variables such as those described in section C.2.1, controlled variables as those presented in section C.2.2 and those partly controlled variables as presented in section C.2.3. The explained variable, here presented in section C.2.4 expresses the desired level of efficacy. Our research framework is summarized in figure C.1.

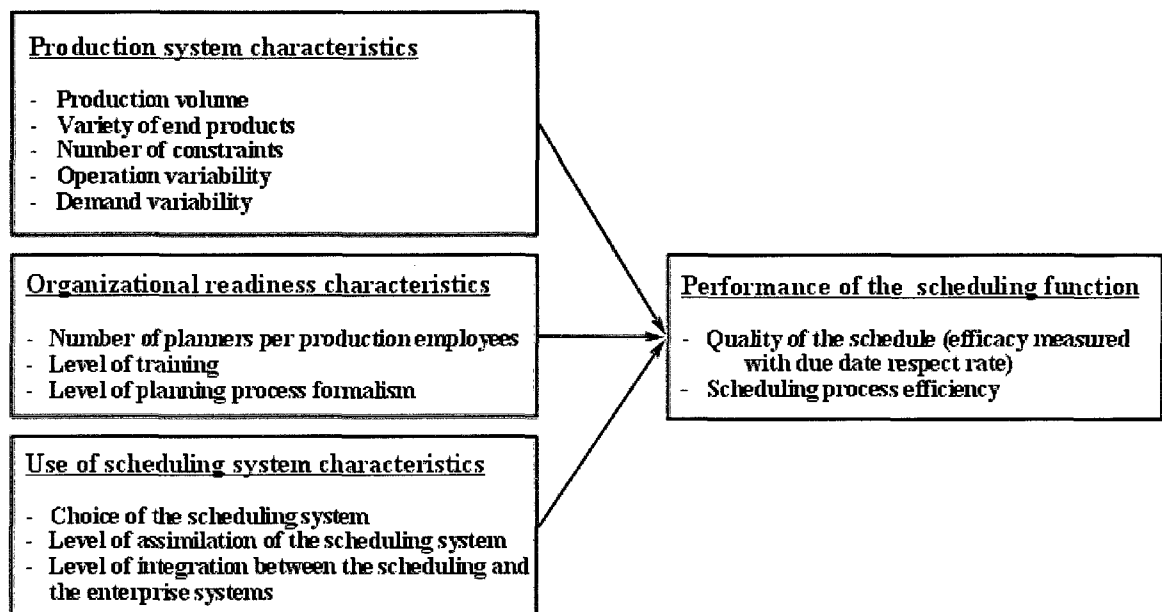


Figure C.1. – Scheduling characteristics Model

C.2.1 Production system characteristics

Wu et al. [3] research demonstrates that operational complexity is a major source of costs and a major concern. Sivadasan *et al.* [4] have proposed a terminology to describe the complexity of the interconnected aspects of systems. In fact, manufacturing system complexity can be measured in different ways. ElMaraghy et al. [5] demonstrated that it could be measured by an entropy formula responding dynamically to changing requirements of scheduling issues. Frizelle and Woodcock [6] have also proposed entropic metrics to measure the static and dynamic complexity nature of manufacturing systems. However, no common framework is used for describing and/or comparing the various aspects of the scheduling complexity within manufacturing environment. Features such as demand, supplies, products, processes, layout, information flow, decision making process, people and goals may all characterized the scheduling complexity of an organization. However, five main factors of influence seem to emerge from the scheduling literature: production volume, variety of end products, the number of constraints, operation variability, and demand variability.

C.2.1.1 Production volume

The production volume is defined as the quantity of product output. Mazzola et al. [7] indicate that workforce productivity has a learning curve effect which can increase or decrease (learn or forget) as a function of previous production volume. Yang et al. [8] also point out that the higher the production volume, the higher the requirement on production staffing level. They show that the required staff attendance time for one unit of a product is proportional to the production complexity. MacCarthy and Wilson [1] also mention that product volume, combined with changes in product range and mix, does affect the complexity of a facility. These arguments lead us to assert that production volume may influence the quality of the production schedule and the scheduling process efficiency.

C.2.1.2 Variety of end products

The variety of end products is defined as the quantification of diversity of the products sold as a completed item or repair part. Van Dam *et al.* [9] have investigated and compared origins of scheduling complexity in the process industries for companies producing dairy products, pharmaceutical products, tobacco, paint, chocolate products and food. They note that the scheduling systems supporting work tasks have not changed sufficiently to ensure performance of the scheduling function. They reported that, due to the complexity of product variety and multiple constraints, planners need to produce accurate schedules in a short time. This can only be attainable with support from a relevant scheduling software package as analyzed by Van Dam *et al.* [10]. In a similar fashion, Jiao and Tseng [11] have observed the optimization of internal complexity and external variety. They expand on product family taking into account production volume, quantity per operation, and the price/cost of component parts. They mention that the number and diversity of component parts and the corresponding processes reflect the complexity of product design and that of production planning and

control. Therefore, a measurement of internal complexities can give indications as to how difficult it may be to institute design, manufacturing, planning and control systems and the scheduling system performance according to complexity indices. These arguments lead to acknowledge that variety of end products may influence the quality of the schedule and the scheduling process efficiency.

C.2.1.3 Number of constraints

Constraints in manufacturing firms are numerous. Despite their wide varieties, constraints may be defined as any factor that prevents a system from achieving a higher level of performance with respect to its goal. The search for an optimal production schedule has long been considered as a difficult task due to its combinatorial property, even in the case of theoretical problems subject to a limited number of constraints. According to Lin [12], the complexity of practical scheduling problems is mainly due to the number and variety of constraints. These arguments lead to conclude that the number of constraints directly influence the quality of the schedule and the scheduling process efficiency.

C.2.1.4 Operation variability

This refers to the variability inherent of a job or task that is in a state of statistical control. The impact on uncertainty on production schedules has been studied by many researchers. For example, Bonfill et al. [13] demonstrated the importance of operational disturbances on production performance and proposed an approach to account for the processing time uncertainty in scheduling. Aytug et al. [14] also discussed the impact of uncertainty from unforeseen disruptions on the shop floor on the schedule quality and system performance. Furthermore, Herroelen [15] identified several key characteristics such as the degree of variability in the work environment, the operational uncertainty on the shop floor, the uncertainty about the process, the uncertainty about the objectives and

the dependency on external influences as having impacts on efficiency and stability. These observations lead to recognize that the operation variability may be impacting the quality of the schedule and the scheduling process efficiency.

C.2.1.5 Demand variability

The demand variability is defined as the uncertainty in demand as measured by the standard deviation, mean absolute deviation (MAD), or variance of forecast errors. Macchiaroli and Riemma [16] mention that the complexity of manufacturing processes has increased due to demand variability and unpredictability. A modern manufacturing system is today required to be both sufficiently reactive and reconfigurable and, at the same time, performing efficiently in stable and predictable conditions. However, demand variability as well as changes in order and priority all affects the schedule quality as manifested by McKay et al. [17]. These arguments lead to postulate that demand variability may be correlated to the quality of the schedule and the scheduling process efficiency.

C.2.2 Organizational readiness

The organizational readiness, in terms of scheduling, is described as the process of building and strengthening core scheduling competencies and organizational scheduling capabilities that enable the execution of the business strategy and provide a sustainable competitive advantage over time. Organizations show different levels of preparation in relation to employees' mental and physical experiences and actions associated with the practice of production scheduling. For this characteristic, we have found in the literature three main factors that influence performance of scheduling function: the number of planners per production employee, the level of training and the level of formalism in the planning process.

C.2.2.1 Level of training

The level of training is here characterized as the knowledge and skills of core scheduling competencies. In a parallel domain but through a similar fashion of analysis, Galloway [18] has examined how scheduling has been taught in 211 universities in 17 countries around the world by comparing the course syllabuses, software and textbooks used. The study aims at the construction industry. However, a parallel can easily be made to manufacturing and industrial engineering, as scheduling course topics often cover both products and services in both production and project industries. She concludes that there is no uniformity or consistency in the course curriculums, textbooks, or reference material used in various schools in the United States, Europe, and/or Asia. Furthermore, it is mentioned that the lack of uniformity in the instruction of graduates is the root cause for misunderstandings among parties in relation to what is required by the contract. She mentions the need for the certification of individuals that would ensure a baseline of competency and uniformity across professionals, and consequently, a new generation of schedulers would have the competence to provide quality schedules. Furthermore, Galloway [19] conducted a survey obtaining stakeholders' views on the necessary qualifications of scheduling personnel and elaborated on the preferred credentials of schedulers. Credentials include on-job training, an undergraduate engineering degree, scheduling training/coursework, graduate degrees, professional licenses, work experience and field experience. In a similar manner, Boucher *et al.* [20] cited the human workforce as the main source of industrial performance. Through a survey, they studied the formalization of the link between human resource and industrial performance, through concepts such as skills, competencies or know-how. They focused on the concept of competence within information systems as a basis for performance analysis and for the development of decision support systems. These observations lead to infer that the level of expertise from training and experience level may be correlated to the quality of the schedule and the scheduling process efficiency.

C.2.2.2 Level of formalism in the planning process

Formalism is defined as the level of organizational capability of strict adherence to prescribed planning process related forms. Niazi *et al.* [21] expands on organizational readiness and software process improvement through the capability maturity model integration (CMMI) as a structured representation of software development processes that can support an organization's software process improvement (SPI) strategies. They report on the implementation of the SPI readiness model in three large-scale case studies and found that the organizations at the lower CMM level are having problems of "awareness of SPI," "experienced staff," "lack of support," "training and mentoring" and "reviews." In addition, White [22] has summarized formalism from diverse literature regarding manufacturing performance measurement and developed a taxonomy for categorizing performance measures. This taxonomy can be used by companies or by researchers to gauge manufacturing performance relative to competitive strategy. Consequently, 125 performance measures are classified about competitive capability (cost, quality, flexibility, delivery reliability and speed), data source (internal or external), data type (subjective or objective), reference (benchmark or self-referenced) and orientation (process input or process outcome). Finally, Kreipl and Pinedo [23] describe a framework for planning and scheduling in supply chains in which they mention the necessity of having an exchange of information and interaction in procedures between planning and scheduling phases. According to them, this aspect deserves more attention. These observations lead to consider that the level of formalism in the planning process may impact the quality of the schedule and the scheduling process efficiency.

C.2.2.3 Number of planners per production employee

The term planner is a general term that can refer to a planner analyst, a manufacturing engineer, a packaging scheduler, a scheduler, a lead scheduler, a master planner, a material planner, a dispatcher or any combination. The ratio of the number of people

involved in the scheduling process per production employee characteristic has been discussed by Guevremont *et al.* [24, 25]. They argue that this ratio is a good measure of the efforts the company accepts to obtain a good schedule. Surprisingly, the literature seems to ignore this parameter and no research addresses the number of planners and schedulers in companies and its influence on the performance. These arguments lead to infer that the number of planners per production may be correlated to the quality of the schedule and the scheduling process efficiency.

C.2.3 *Use of scheduling systems*

The use of scheduling systems has been studied in the literature through different angles, including the choice of the scheduling system, the level of assimilation of the scheduling system and the level of integration between the scheduling and the enterprise systems.

C.2.3.1 *Choice of the scheduling system*

A scheduling system is defined as the set of software programs that control the sequence of products execution. Most author deals with the quality of the schedule more than the performance of the scheduling system. Cavalieri *et al.* [26] details the PMS-ESS conceptual framework developed for assessing the level of performance of a scheduling solution. They provide a comprehensive view of the rationale, the conceptual model, the development effort and first applicable experiences of the benchmarking service. With their three-layered framework, they measure system effectiveness, robustness and flexibility. Kempf *et al.* [27] also describes a number of different considerations that must be taken into account when assessing the quality of a schedule, and discuss their implications for the design and implementation of scheduling systems. They provide a definition of a schedule and discuss potential uses for a schedule within the organization.

Some authors argued that the performance of a scheduling system limits the quality of a schedule [19, 27, 28]. For example, Galloway [19] conducted a survey for

stakeholders of the industry relative to the use of scheduling and its benefits, its applicability and its acceptance in the execution of today's projects. She obtained stakeholder views on the use and effectiveness of scheduling. Schumacher *et al.* [29] also demonstrated how a scheduling system may improve the way of responding to disturbances in manufacturing systems. This result suggests that a scheduling software may improve the scheduling process and produce better schedules.

C.2.3.2 Level of assimilation of the scheduling system

Assimilation refers to how thoroughly a company comprehends the system, the culture and the process of scheduling. Herroelen [15] manifests that many project scheduling procedures published over the past several years in the literature have not yet found their way to the commercial software and are seldom or not used by practicing project schedulers. His studies reveal that managers often use information systems for project planning mainly for communication and representation, rather than for optimization. Moreover, software users seem to have limited knowledge of the software tool they are using and project planning tools in general. The same observation has also been made in manufacturing organizations [29, 30]. These observations lead to believe that the level of assimilation of the scheduling system may influence the quality of the schedule and the scheduling process efficiency.

C.2.3.3 Level of integration between the scheduling and the enterprise system.

Fichman and Kemerer [30] describe a knowledge barrier from three hypothesized factors (a learning-related scale, related knowledge and diversity) between the software process and complex organizational technologies. Further, they explain the assimilation of software process. Their research is supported by an empirical study using data on six hundred and eight information technology organizations which strongly confirmed the importance of their three factors. These arguments lead to assert that the level of

integration between the scheduling and the enterprise system may impact the quality of the schedule and the scheduling process efficiency.

C.2.4 Quality of the schedule

So far, a number of authors have attempted to propose indicators to measure the quality of production schedules. For example, Pinedo [32] defines scheduling performance measures in a manufacturing environment against six factors. Namely, they are throughput and makespan objectives (bottleneck machines, lowest capacity, never idle), due date related objectives (lateness, tardy jobs, on-time shipments, priority weights, number of late jobs, penalize early completion), setup costs (insignificant setup times, major setup costs), work-in-process inventory costs (clog up operations, inspections, JIT concept, weighted completion time), finished goods inventory costs (holding cost, lot size, safety stock) and transportation costs (truck, rail, sea, air; speed, cost and reliability; JIT, inventory and holding costs, disruption e.g. machine breakdown or rush orders). However, Lucertini et al. [31] mention that usual efficiency indicators, such as throughput and completion time, are difficult to evaluate and even to be formulated in logical terms for most production systems.

Recognizing the fundamental differences between the different types of production environments and the difficulty of measuring some indicators, we selected in this study the due date respect rate to describe the quality of a schedule, which may be evaluated in different forms. As such, due date respect rate may be calculated either based on forecast or on customer order due date, which allows us to use a common measure for all Make-to-stock, Make-to-order and Engineering-to-order environments.

C.3. RESEARCH METHODOLOGY

To evaluate the performance of the scheduling function through the adequacy of the quality of production schedule and the scheduling process efficiency, and knowing the

practical and exploratory character of this research, a cross-case analysis has been conducted with 5 companies. Indeed, when behavioral events cannot be adequately controlled and when little is known about a phenomenon due to the lack of theory, a qualitative approach such as the case study method is highly recommended as an alternative means to gather evidence and to understand complex phenomena as mentioned by Yin [33], Eisinhart [34] and Stuart et al. [35].

Yin [33] defined a case study as an “empirical inquiry that: (a) investigates a contemporary phenomenon within real life context, especially when (b) the boundaries between phenomenon and context are not clearly evident”. In our case, scheduling processes often involved many actors working in many company departments, requiring multiple systems and coordination. All of these factors contribute to the scheduling process complexity. Consequently, a quantitative methodology would not allow for an in-depth understanding of the firm's and the interviewees' experiences with the different systems used. Therefore, a case study strategy was employed in this research.

In our interviews, production related questions enabled us to confirm the company size, production nature, number of products, nature of demand, cycle time information, average number of opened production work orders, average number of daily completed work orders, average operation duration at completion, average number of pieces or materials by product, and average reject percentage. At the resource level, questions covered the number of machines and machine types, number of operators, trades represented, work shifts and number of work centers.

Instead of using a questionnaire method, we chose to use oriented interviews. The diversity of situations and respondents would have been impossible using a simple questionnaire distribution. Actually, companies varied in size, complexity, processes, products and planning and scheduling approaches. Furthermore, knowing that scheduling in companies implies diverse cognitive tasks and social roles, a preliminary meeting with a production or logistics manager, depending on the company, was held with the intent of identifying basic information and actors subject to give the best

answers to all required questions. Each interview took an average of an hour per employee. Once the information was collected and organized, a second meeting with field observations was held to procure precisions and palliate to any missing information. Interviews and observations were conducted between May 2007 and August 2007 by four researchers and three professor-researchers. Process mapping activities also enabled us to determine all actors involved in the scheduling process.

C.3.1 Companies

Table C.1. – Companies

Company	A	B	C	D	E
Companies characteristics					
Sector	Defense	Pharmaceutical	Aerospace	Food	Transport
Environment type	Job shop	Mix (flow shop and job shop)	Job shop	Flow shop	Flow shop
Due dates origins	Client and Forecasts	Forecasts	Client	Forecasts	Forecasts
Number of employees	420	1300	500	230	1000
Number of planners/schedulers	9	21	6	4	20

As seen in table C.1, company A is specialized in the defense sector. It offers manufacturing, repair and overhaul services for combat vehicles and transport systems. Operating in a discrete mode and in a make-to-stock environment, processes are highly variable and a total of 25 858 different products are reported. They use an overhaul plant and a machining shop totaling 419 employees. In company A, only one scheduler and a group of 8 technicians supports the scheduling functions. Software used is SAP (R/3 and BW) and MS Excel. In this company, the process of establishing product due dates is done by the chief scheduler, who establishes the date the completed product is required for the client. From that date, operations are scheduled backward according to the bill of materials to meet the proposed end date. Additionally, urgent new operations can be added into the schedule.

Company B is specialized in pharmaceutical, biotechnological and health care products for humans and animals. A micro-plant structure is used, enabling small batch production of specialized products in a make-to-stock and make-to-order environment. Products are mostly independent from one another. We found micro-plants in discrete and in continuous modes and input and output laboratories necessary for the production of 478 distinct products. In company B, there are 21 schedulers and a total of more than 1300 employees. The software used is JD Edwards (JDE), Taylor Scheduling System (TESS), Brio and MS Excel. In this company, the process of establishing due dates is done mostly from the use of forecasts.

Company C is specialized in products and services for the aerospace industry as an equipment and flight simulator supplier. The company is operating in discrete mode, has few products and presents a make-to-order environment. However, more than 12 000 pieces are required for each final product. Company C has more than 200 employees including 4 schedulers. The software used is Solomon, PS8, MS Project, Job Boss and MS Excel. In company C, due dates are imposed by the clients.

Company D acts in the food sector and produces cookies, sugar wafers, snack bars, breakfast cereals, pretzels and crackers. Its production generates 600 different products, is mainly operating in continuous mode using parallel machines and produces in a make-to-stock environment. Company D chose to use SAP and a scheduling module developed in-house. It has more than 500 employees. Furthermore, a vice president is responsible for scheduling. He manages a team of schedulers and establishes due dates from the use of forecasts.

Company E is active in the transportation sector offering services in design, manufacturing and customer support. The company assembly line manufactures more than 8000 products in a make-to-stock environment. Paradox 7 is the scheduling software used by the company and its results are sent daily to its head office for validation. Additionally, the process of establishing due dates is performed internally

based on forecast. More than 1000 employees are on the payroll including 20 schedulers.

Observed work environment structures vary greatly. As illustrated in Table C.1, two firms used a flow shop approach, two other companies use a job shop approach and one had a mixed approach. Using Taylor's [36] typology, the observed companies are further classified to show custom volume for companies A and C and medium volume differencated for companies B, D and E.

This information enables us to differentiate companies from their difficulty to produce a feasible schedule. Using Wiers [37] classification, it is possible to class our five companies in smooth shop, social shop, socio-technological shop and stress shop. In that classification, the X axis represents the uncertainty related to the production complexity and the Y axis reflects the human ability using its flexibility to compensate for uncertainties and perturbations. Hence, we observe that job shops are representing the most turbulent and difficult environment to master. In our analysis, we found companies A and C as stress shops and companies B, D and E as sociotechnical shops. We note that company A is in the most complex environment. In fact, we noted that company A works in an environment in which employee intervention has minimal impact on the ability to react to unforeseen or disturbing events.

C.4. OBSERVATIONS

Result analysis is accomplished in four distinct parts and presented in table C.2. We have first evaluated different production characteristics in section C.4.1. Section C.4.2 quotes an appreciation of organizational readiness factors influencing the scheduling function. Then, section C.4.3 presents specific elements related to processes and the scheduling system used in companies. Finally, section C.4.4 evaluates the quality of the observed schedule.

Table C.2. – Characteristics

Company	A	B	C	D	E
Production system characteristics					
Production volume	Low	High	Low	High	Moderate
Variety of end products	High	Moderate	Low	Moderate	High
Number of constraints	High	High	Moderate	High	Moderate
Operations variability	High	Moderate	Low	High	Moderate
Demand variability	High	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate
Organizational readiness characteristics					
Level of training	Low	High	Moderate	Moderate	Moderate
Precision of responsibilities	Low	High	Moderate	Moderate	Moderate
Level of education at hire	Low	High	Moderate	Moderate	Moderate
Progression and career progress	Low	High	Moderate	Moderate	Moderate
Orders start and end dates establishment process	Poorly defined & established	Defined & Established	Defined & Established	Defined & Established	Defined & Established
Follow-up process	Poorly defined & established	Well defined, established & centralized	Defined & Established	Defined & Established	Defined & Established
Correction process	Poorly defined & established	Well defined, established & centralized	Defined & Established	Defined & Established	Defined & Established
Ratio of planners	2.14%	1.62%	1.20%	1.74%	2.00%
Use of Scheduling software characteristics					
Scheduling softwares	SAP MS Excel	JDE, TESS, MS Excel, BRIO	Salomon, PS8, MS Excel, MS Project	SAP, Internal App.	Internal App.
Level of assimilation of the scheduling system	High	Moderate	Moderate	High	Moderate
Level of integration between the scheduling and the enterprise systems	Moderate	High	Moderate	Moderate	Moderate
Performance of the scheduling function					
Due dates respect rate (efficacy) and process efficiency	Low	High	Low	High	High

C.4.1 Production system characteristics

Data describing production volumes, product variety, number of constraints, operations variability and demand variability have been collected. As described in section C.2.1, it was noted that company A returned the most complex system structure and company C has the simplest while companies B, D and E illustrated results that are close to the average. A characteristic comparison specific to each production system environment is summarized in table C.2.

C.4.2 Organizational readiness features

We characterized organizational readiness features for the companies of this study. Number of planners per production employees, level of training and level of planning progress formalism are illustrated and analyzed on table C.2. It is noted that company B shows the greatest organizational readiness and that company A reflects the weakest results related to organizational readiness maturity. The maturity is here defined as high score in the three features of the organizational readiness. Here, companies C, D and E showed results that are close to average. We observed a strong variation in the level of education of employees in the enterprises visited. Education of schedulers is closely related to local specifics and expertise which are characterized by the combination of the following three elements:

- Academic education;
- Professional certifications and training;
- Years of experience as scheduler.

The academic education of the schedulers observed in this study was quite varied. We observed in companies of this study that collegial studies diplomas, bachelor (BACC in engineering or in operations management) or masters degree were generally required as hiring criteria for scheduling candidates. However, many employees were trained internally in companies. Others attended training courses recognized and accredited by

the government or by professional organizations (AACE, APICS, PMI). All of these certifications cover knowledge elements propitious to schedulers and are generally valued by the companies interviewed.

Years of experience as scheduler were also a part of the analysis. Many different profiles of individuals were interviewed; some were straight out of school while others had more than thirty years of experience. We observed a high quantity of actors in their forties that accumulated between ten and fifteen years of experience in their industry. Companies visited mixed their employees to generate teams with consideration to their relative experience in order to gain optimal benefit while maximizing the development of employees.

In summary, employees demonstrated many different levels of experience and education.

C.4.3 Use of scheduling systems

The scheduling system characteristics observed are listed and analyzed in table C.2. The choice of the scheduling system, level of assimilation of the scheduling system and level of integration between the scheduling and the enterprise systems has been analyzed. We observed that company B and D showed the highest processes and systems efficiency deployment while company A demonstrated a low degree of sharpness in scheduling processes and system setup, resulting in poor efficiency. It is interesting to note that companies B and D, which have the more advanced scheduling systems, in turn of functionalities and calculation power, turns out to provide the best overall quality schedules.

C.4.4 Quality of the schedule

We evaluated the quality of schedules by comparing the average order scheduled finish dates and actual order finish date. In company C, the due date is measured based on clients' due dates. In company B and D, they are calculated based on forecast data.

In companies A and E, the due dates are a blend of client and forecast imposed constraints.

For this study, a negative correlation was observed between the production system complexity and the scheduling system efficiency while a positive correlation was observed between the organizational readiness and the scheduling system efficiency. The poor performance of company A is explained in great part by its highly dynamic and random environment. With a similar result, company C illustrates deceiving results despite they operate in a stable environment. The three other companies showed a high rate for meeting Pinedo's criteria. As foreseen, the companies in a flow shop environment were better predisposed to provide quality schedules.

C.5. DISCUSSION

Based on our observations, it seems that the production volume does not influence the performance of the scheduling function. The four other characteristics describing the system complexity are all considered significant.

As for the characteristics of organizational readiness, we consider all characteristics to be significant. Surprisingly, we observed that the scheduler to employee ratio is close to 2% for all companies. The standard deviation is low, as percentages vary from 1.20% to 2.14%. This is a key observation that the number of planners per employee is fairly equal in all organizations in this study.

Lastly, for the characteristics related to the scheduling system efficiency, we consider all characteristics to be significant. Furthermore, we have noted in the five manufacturing companies that MS Excel is widely used by the scheduling actors at varying degrees of utilization. Moreover, we can mention that the use of relevant scheduling systems is directly correlated to the benefit of the company's production environment. Hence, it was noted that there were bigger needs for companies in a job shop environment.

From a software standpoint, no scheduling system can operate effectively without a well established follow-up procedure enabling the scheduler to make decisions quickly and with confidence. It has been recognized that schedulers spend an average of 50% of their time collecting information and generating different production schedules. Coordination between different services and correction of the initial plan stand for the other half of their time. This reality is observed in every case, regardless of the forecast evaluation frequency and schedule updates. This suggests that scheduling systems bring more benefits for evaluating reactive measures (i.e. re-scheduling) than for scheduling. This observation brings us to redefine the scheduling process as an integrated group of activities which includes data collection, schedule generation, coordination and production follow up. As illustrated in Guevremont et al. [25], this process is iterative and is refined with every loop performed. In addition, production supervisors or foremen are key actors in scheduling as they lead refinement, coordination and correction activities tied to production schedules. In every case, we noticed that production supervisors modify the schedule originally made by the scheduler to include local constraints not considered by the scheduler or the scheduling system.

From an information systems standpoint, we observed that all companies used scheduling tools which were either developed in house or bought as commercial software. Moreover, we note the use of a doubled scheduling system in companies A, B and D, i.e. a first one is used with shop floor employees and a second is used by office employees and managers. This supports the frequently evoked idea that managers oversee operations while having an erroneous vision of the real situation.

The companies we visited exhibit significant quantity variations for their number of schedulers and their scheduling software used. However, it was observed that annual revenues and number of employees fluctuate just as much.

On an individual basis, we found that company A faces a complex production and demonstrates weaknesses from an organizational standpoint. At the other end, company B possesses a great scheduling quality but shows a heavy structure in relation to its

production complexity. In terms of return, the result analysis showed that company A, which is classified as a stress shop, illustrates a low respect rate of planned due dates. We can infer company A's low capacity to adapt to production change. Moreover, in contrast, company C, which performs in a social shop, reflects a low performance despite the fact that they operate in the most stable environment. This weakness is explained by the organizational gaps and the missing harshness in processes. Systems used are equally ineffective from many viewpoints.

In a global view, we observe that the production system complexity, as defined previously, seems to be the main factor influencing the production schedule quality. Results of company C are, however, incoherent with this last statement which leads us to conclude that production volume does not add additional difficulties to the scheduler and their scheduling system.

Scheduling software is often considered essential to establishing reliable due dates. In our cases, some scheduler systematically used scheduling software. Others used them partially or locally (i.e. only in specific work centers) or specific companies had schedulers who did not use any practical scheduling tools at hand. Our results seem to indicate that the scheduling function performance is not directly correlated to the level of use of advanced scheduling software.

C.6. CONCLUSION

This research identified numerous activities and actors involved in the production scheduling process. As previously mentioned, our observations clearly demonstrate that the scheduling results and process are far more than a simple calculation, and that production supervisors are clearly key players in that process. Specifically, we noted that companies often fail to meet due dates as a result of multiple production changes. The process of scheduling involves constant and dynamic evolution of due dates, resulting in difficulties in the evaluation and with comparing companies in relation to quality of the schedules.

It was found that the production volume has little impact on the performance of the scheduling function. Other production system characteristics (variety of end products, number of constraints, operations variability and demand variability) negatively correlate to the performance of the scheduling function while the organizational readiness characteristics (level of training, level of formalism in the planning process and number of planners per production employee) and the use of scheduling system characteristics (choice of the scheduling system, level of assimilation of the scheduling system and level of integration between the scheduling and the enterprise system) have impacts on both quality of the schedule, as a measure of efficacy, and process efficiency.

Additionally, in light of the measures presented in this article, it seems that the use of modern scheduling software cannot by itself guarantee a good performance of the scheduling function. Despite the low number of observed companies, we can conclude that the complexity of the production environment and decisions taken that are tied to work organization and processes formalism are driving factors. Furthermore, we conclude by mentioning that scheduling is not accomplished by a single worker nor a single system; it is a distorted and complex combination of the two that produces a profitable outcome.

From a research viewpoint, a more exhaustive company evaluation would certainly enable the refinement of our analysis. The comparison of various factors in relation to the operation type and industrial sectors seems to be an additional promising research avenue. Research should continue by investigating more case analysis and through the use of extensive quantitative surveys.

References

- [1] B.L. MacCarthy, J.R. Wilson, Human performance in planning and scheduling, Taylor and Francis, 2001.

- [2] A. Neely, The performance measurement revolution: why now and what next? *International journal of operations and production management* 19 (2) (1999) 205-228.
- [3] Y. Wu, G. Frizelle, J. Efstathiou, A study on the cost of operational complexity in customer-supplier systems. *International Journal of Production Economics* 106 (2007) 217-229.
- [4] S. Sisadavan, J. Efstathiou, A. Calinescu, L. Huaccho Huatuco, Advances on measuring the operational complexity of supplier-customer systems, *European Journal of Operational Research* 171 (2006) 208-226.
- [5] H.A. ElMaraghy, O. Kuzgunkaya, R.J. Urbanic, Manufacturing system comparison complexity, *CIRP – Manufacturing Technology* 54 (1) (2005) 445-450.
- [6] G. Frizelle, E. Woodcock, Measuring complexity as an aid to developing operational strategy, *International Journal of Operations and Production Management* 15 (5) (1995) 26-39.
- [7] J.B. Mazzola, A.W. Neebe, C.M. Rump, Multiproduct production planning in the presence of work-force learning, *European Journal of Operational Research* 106 (1998) 336-356.
- [8] T. Yang, R.S. Lee, C. Hsieh, Solving a process engineer's manpower-planning problem using analytic hierarchy process, *Production Planning and Control* 14 (3) (2003) 266-272.
- [9] P. Van Dam, G. Gaalman, G. Sierksma. 1993, Scheduling of packaging lines in the process industry: an empirical investigation, *International journal of production economics* 30-31 (1993) 579-589.
- [10] P. Van Dam, G. J.C. Gaalman, G. Sierksma, Designing scheduling systems for packaging in process industries: A tobacco company case, *International journal of production economics* 56-57 (1998) 649-659.
- [11] J. Jiao, M. M. Tseng, Understanding product family for mass customization by developing commonality indices, *Journal of Engineering Design* 11 (3) (2000) 225-243.

- [12] F.T. Lin, Fuzzy job-shop scheduling based on ranking level (λ , 1) Interval-valued fuzzy numbers, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 10 (4) (2002) 510-522.
- [13] A. Bonfill, A. Espuna, L. Puigjaner, Addressing robustness in scheduling batch processes with uncertain operation times, *Ind. Eng. Chem. Res.* 44 (5) (2005) 1524-1534.
- [14] H. Aytug, M.A. Lawley, K. McKay, S. Mohan, R. Uzohy, Executing production schedules in the face of uncertainties: A review and some future directions, *European Journal of Operational Research* 161 (2005) 86-110.
- [15] W. Herroelen, Project scheduling – Theory and Practice. *Production and operations management* 14 (4) (2005) 413-432.
- [16] R. Macchiaroli, S. Riemma, A negotiation scheme for autonomous agents in job shop scheduling, *International journal of integrated manufacturing* 15 (3) (2002) 222-232.
- [17] K. McKay, M. Pinedo, S. Webster, Practice-focused research issues for scheduling systems, *Production and operations management* 11 (2) (2002) 249-258.
- [18] P.D. Galloway, Comparative study of university courses on critical-path method scheduling, *Journal of Construction Engineering and Management* 132 (7) (2006a) 712-722.
- [19] P.D. Galloway, Survey of the construction industry relative to the use of CPM scheduling for construction projects, *Journal of Construction Engineering and Management* 132 (7) (2006b) 697-711.
- [20] X. Boucher, E. Bonjour, B. Grabot, Formalisation and use of competencies for industrial performance optimization: a survey, *Computers in industry* 58 (2007) 98-117.
- [21] M. Niazi, D. Wilson, D. Zowghi, Organisational readiness and software process improvement, *Lecture notes in computer science* (2007) 96-107.
- [22] G.P. White, A survey and taxonomy of strategy-related performance measures for manufacturing, *International journal of operations and production management* 16 (3) (1996) 42-61.

- [23] S. Kreipl, M. Pinedo, Planning and scheduling in supply chains: An overview of issues in practice, *Production and operations management* 13 (1) (2004) 77-92.
- [24] M. Guevremont, P. Baptiste, R. Pellerin, L'ordonnancement de la production : bien plus qu'une question de calcul, *Proceedings of the seventh international conference on modelisation and simulation*, Paris, France (2008) 1704-1712.
- [25] M. Guevremont, P. Baptiste, R. Pellerin, The art of scheduling: a cross-case analysis, *Proceedings of the international conference on information systems, logistics and supply chain*, Madison, Wisconsin, USA (2008) 275-285.
- [26] S. Cavalieri, S. Terzi, M. Macchi, A benchmarking service for the evaluation and comparison of scheduling techniques, *Computers in industry* 58 (2007) 656-666.
- [27] K. Kempf, R. Uzsoy, S. Smith, K. Gary, Evaluation and comparison of production schedules, *Computers in Industry* 42 (2000) 203-220.
- [28] S. Kariuki, J. Efstathiou, Information theory as a measure of schedule complexity, *Advances in Manufacturing Technology XVI: proceedings of the eighteenth National Conference on Manufacturing Research*, Leeds Metropolitan University, United Kingdom (2002) 479-483.
- [29] J. Schumaker, Z. Verwater-Lukszo, M.P.C. Weijnen, Disturbances and their impact on scheduling, *Proceedings of the 24th International Conference on Computers and Industrial Engineering* 37 (1999) 75-79.
- [30] R.G. Fichman, C.F. Kemerer, The assimilation of software process innovations: an organizational learning perspective, *Management Science* 43 (10) (1997) 1345-1363.
- [31] M. Lucertini, D. Pacciarelli, A. Pacifici, Modeling an assembly line for configuration and flow management, *Computer Integrated Manufacturing Systems* 11 (1-2) (1998) 15-24.
- [32] M.L. Pinedo, *Planning and scheduling in manufacturing and services*, New York, Springer-Verlag (2005).
- [33] R. Yin, *Case study research: Design and methods*, London: Sage Publications (1994).

- [34] K.M. Eisenhardt, Building theories from case study research, *Academy of Management Review* 14 (4) (1989) 532-550.
- [35] I. Stuart, D. McCutcheon, R. Handfield, R. McLachlin, D. Samson, Effective case research in operations management: A process perspective, *Journal of Operation Management* 20 (5) (2002) 419-433.
- [36] S.G. Taylor, S.M. Stewart, S.F. Bolander, Why the process industries are different, *Production and Inventory Management Journal* 22 (4) (1981) 9-24.
- [37] V.C.S. Wiers, Human-computer interaction in production scheduling: Analysis and design of decision support systems for production scheduling tasks, *Thèse de Doctorat, Université des technologies d'Eindhoven, Pays-Bas* (1997).

Date: 19 Mar 2009 03:37:49 +0000

De: Computers in Industry <Comind@rug.nl>

À: "michel.guevremont@polymtl.ca" <michel.guevremont@polymtl.ca>

Objet: Submission Confirmation

Dear Mr Michel Guevremont,

Thank you for submitting your article entitled "Assessing the Performance of the Scheduling Function in Manufacturing Organizations: A cross-case analysis" to our Journal.

The editor in chief will review the manuscript and ascertain its suitability for publication. If it is judged suitable, three referees will be selected for a double-blind review process. Based on the reviewers reports, the editor will make a decision.

You will be informed of this decision as soon as possible.

You may check on the progress of your paper by logging on to the Elsevier Editorial System as an author.

The URL is <http://ees.elsevier.com/comind/>

You will receive a reference number for your manuscript shortly.

Yours sincerely,

Elsevier Editorial System
Computers in Industry

Figure C.2. – Lettre émise par la revue scientifique internationale "Computers in Industry" le 18 mars 2009 comme confirmation de réception de l'article.

ANNEXE D – CERTIFICAT D'ACCEPTATION D'UN PROJET DE RECHERCHE PAR LE COMITÉ D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE (CER) AVEC SUJETS HUMAINS DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE


 <p>ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTRÉAL</p> <p>Comité d'éthique de la recherche avec des sujets humains</p> <p>Adresse civile : Campus de l'Université de Montréal 2500, boul. Édouard-Montpetit École Polytechnique 2500, chemin de Polytechnique H3T 1J4</p> <p>Adresse postale : C.P. 2376, succursale Centre-ville Montréal (Québec) Canada H3C 2A7</p> <p>Téléphone : (514) 340-4090 Télécopieur : (514) 340-4982</p> <p>École affiliée à l'Université de Montréal</p> <p>Membres réguliers du comité :</p> <p>Ginette Demcours, IRSSST Daniel Imbeau, génie industriel Bernard Lapierre, génie civil * André Plamondon, Université de Montréal Pierre Savard, génie biomédical</p> <p>Jean Choquette, secrétaire</p> <p>* président du Comité</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center; margin-bottom: 20px;"> CERTIFICAT D'ACCEPTATION D'UN PROJET DE RECHERCHE PAR LE COMITÉ D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE AVEC DES SUJETS HUMAINS DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE </div> <p>Montréal, le 22 mai 2007.</p> <p>M. Robert Pellerin Professeur Département de mathématiques et de génie industriel École Polytechnique de Montréal</p> <p>N/Réf : Dossier CÉR-06/07-12</p> <p>Cher M. Pellerin,</p> <p>J'ai le plaisir de vous informer que le Comité d'éthique de la recherche avec des sujets humains de l'École Polytechnique a approuvé, lors de sa réunion du 17 mai 2007, votre projet de recherche intitulé « <i>Ordonnancement (Lean Scheduler)</i> » que vous réalisez en collaboration avec SAP Canada.</p> <p>Il est entendu que le présent certificat est valable pour le projet tel que soumis au Comité d'éthique de la recherche avec sujets humains. Le secrétaire du Comité d'éthique de la recherche avec des sujets humains doit immédiatement être informé de toute modification qui pourrait être apportée ultérieurement au protocole expérimental, de même que de tout problème imprévu pouvant avoir une incidence sur la santé et la sécurité des personnes impliquées dans le projet de recherche (sujets, professionnels de recherche ou chercheurs).</p> <p>Nous vous prions également de nous faire parvenir un bref rapport annuel ainsi qu'un avis à la fin de vos travaux.</p> <p>Je vous souhaite bonne chance dans vos travaux de recherche,</p> <p style="text-align: right;">Bernard Lapierre Président Comité d'éthique de la recherche avec des sujets humains</p> <p style="text-align: right;">c.c. : Jean-Pierre Labelle, BRCDT Jean Choquette, DRI</p>
--	---

Figure D.1. – Certificat d'acceptation d'un projet de recherche par le comité d'éthique de la recherche (CER) avec sujets humains de l'École Polytechnique de Montréal.